

特開平11-353338

(43)公開日 平成11年(1999)12月24日

(51)Int.Cl.

識別記号

G06F 17/50

H01L 29/00

F I

G06F 15/60

666

A

H01L 29/00

G06F 15/60

668

A

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全29頁)

(21)出願番号 特願平10-156084

(22)出願日 平成10年(1998)6月4日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 園田 賢一郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

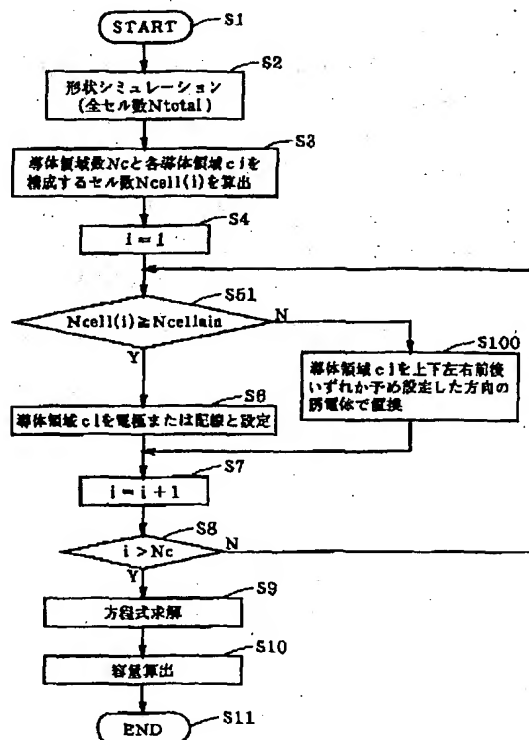
(74)代理人 弁理士 吉田 茂明 (外2名)

(54)【発明の名称】集積回路のシミュレーション方法および記録媒体

(57)【要約】

【課題】 セルを用いた形状シミュレーションで生じた誤差の影響を少なくして他のシミュレーションを行なえるようにする。

【解決手段】 形状シミュレーションの結果から、導体領域数 N_c と各導体領域 c_i を構成するセル数 $N_{cell}(i)$ とを算出し、各導体領域 c_i について $N_{cell}(i)$ が電極もしくは配線とみなす最低セル数 $N_{cellmin}$ より大きいかなしければその導体領域を電極もしくは配線と設定する。そうでなければその導体領域を予め設定した上下左右前後いずれかの方向の誘電体で置換する。例えば、 $N_c=4$ 、 $N_{cell}(1)=16$ 、 $N_{cell}(2)=8$ 、 $N_{cell}(3)=1$ 、 $N_{cell}(4)=1$ 、 $N_{cellmin}=5$ とし、セル数が $N_{cellmin}$ 以下の導体領域を上方の誘電体で置換することになれば、 c_1 、 c_2 は電極もしくは配線とみなされ、 c_3 、 c_4 は誘電体で置換される。すべての導体領域について処理が終わると、例えば容量シミュレーションを精度よく行なえる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 各々が材質及び位置の情報を有する単位領域の集合として、集積回路の構造を求める第 1 のステップと、

前記材質が導体である前記単位領域の連結体を導体領域として認識し、前記導体領域の総数及び前記導体領域のそれぞれが含む前記単位領域の数を算出する第 2 のステップと、

前記導体領域のそれぞれについて、前記単位領域の数が電極もしくは配線の領域とみなす基準を満たすかどうかを判定する第 3 のステップと、

前記第 3 のステップにおいて前記基準を満たさなかった前記導体領域が含む全ての前記単位領域の材質を非導体に置換する第 4 のステップと、

前記第 4 のステップで前記材質が置換されたものも含め、前記単位領域の前記材質及び位置の情報をを用いて、所定の方程式を解いて前記集積回路の物理的性質を求める第 5 のステップとを備えることを特徴とする集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 2】 前記基準とは、前記導体領域が含む前記単位領域の数が、予め設定した設定値以上か否かである、請求項 1 記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 3】 前記設定値とは、前記集積回路でシミュレーションの対象となる全領域での前記単位領域の総数と所定の割合との積である、請求項 2 記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 4】 前記設定値とは、前記導体領域のそれぞれが含む前記単位領域の数の最大値と所定の割合との積である、請求項 2 記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 5】 前記基準とは、前記導体領域について、それぞれの前記導体領域が含む前記単位領域の数の大きい方から数えたときの順位が、予め設定された設定値以内にあるか否かである、請求項 1 記載の集積回路のシミュレーションの方法。

【請求項 6】 各々が材質及び位置の情報を有する単位領域の集合として、集積回路の構造を求める第 1 のステップと、

前記材質が導体である前記単位領域の連結体を導体領域として認識し、前記導体領域の総数を算出し、三次元シミュレーションの場合は前記導体領域の体積を算出し、二次元シミュレーションの場合は前記導体領域の面積を算出する第 2 のステップと、

前記導体領域のそれぞれについて、前記単位領域の体積もしくは面積が電極もしくは配線の領域とみなす基準を満たすかどうかを判定する第 3 のステップと、

前記第 3 のステップにおいて前記基準を満たさなかった前記導体領域が含む全ての前記単位領域の材質を非導体に置換する第 4 のステップと、

前記第 4 のステップで前記材質が置換されたものも含

め、前記単位領域の前記材質及び位置の情報をを用いて、所定の方程式を解いて前記集積回路の物理的性質を求める第 5 のステップとを備えることを特徴とする集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 7】 前記基準とは、三次元シミュレーションの場合は前記導体領域の体積が予め設定した設定値以上か否かであり、二次元シミュレーションの場合は前記導体領域の面積が予め設定した設定値以上か否かである、請求項 6 記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 8】 前記設定値とは、三次元シミュレーションの場合は前記集積回路でシミュレーションの対象となる全領域の体積と所定の割合との積であり、二次元シミュレーションの場合は前記集積回路でシミュレーションの対象となる全領域の面積と所定の割合との積である、請求項 7 記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 9】 前記設定値とは、三次元シミュレーションの場合は前記導体領域の体積の最大値と所定の割合との積であり、二次元シミュレーションの場合は前記導体領域の面積の最大値と所定の割合との積である、請求項 7 記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 10】 前記基準とは、前記導体領域について、三次元シミュレーションの場合はそれぞれの前記導体領域の体積の大きい方から数えたときの順位が、予め設定された設定値以内にあるか否かであり、二次元シミュレーションの場合はそれぞれの前記導体領域の面積の大きい方から数えたときの順位が、予め設定された設定値以内にあるか否かである、請求項 6 記載の集積回路のシミュレーションの方法。

【請求項 11】 前記第 4 のステップにおいて、置換されるべき前記導体領域が、その最表面を形成する前記単位領域の有する境界のうち予め設定した方向の境界で隣接している前記単位領域の材質で置換される、請求項 1 乃至 10 のいずれか一つに記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 12】 前記第 4 のステップは、置換されるべき前記導体領域と、これに隣接する少なくとも一つの前記単位領域で構成される隣接領域との境界の大きさを前記隣接領域の前記材質ごとに求める第 6 のステップと、

前記境界の大きさの最大値を与える前記材質の種類を以って前記置換されるべき導体領域の前記材質を置換する第 7 のステップとを備える、請求項 1 乃至 10 のいずれか一つに記載の集積回路のシミュレーション方法。

【請求項 13】 集積回路の構成を集合して表し、各々が材質及び位置の情報を有する単位領域の集合に対して、前記材質が導体である前記単位領域の連結体を導体領域として認識し、前記導体領域の総数を算出する第 1 のステップと、

前記導体領域のそれぞれについて電極もしくは配線の領域とみなす基準を満たすかどうかを判定する第 2 のステ

ップと、

前記第2のステップにおいて前記基準を満たさなかった前記導体領域を含む全ての前記単位領域の材質を非導体に置換する第3のステップと、

前記第3のステップで前記材質が置換されたものも含め、前記単位領域の前記材質及び位置の情報を用いて、所定の方程式を解いて前記集積回路の物理的性質を求める第4のステップとを実現するプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、集積回路を構成する素子や配線の特性をシミュレーションにより評価する技術に関し、特に形状シミュレーションの補正に関するものである。

【0002】

【従来の技術】集積回路（以下ICと呼ぶ）の集積度は年々高まり半導体素子や配線の形状および構造がより微細化、複雑化しつつあるが、ICの特性はこのような内部の素子や配線の性質に大きく依存している。例として、MOSFETの各電極間容量が高周波域での回路の動作特性に大きく関わっていることや、配線間の寄生容量が信号の遅延をもたらすことなどが挙げられる。このようなIC内部の形状および構造に依存した物理量が不明であると、実際の動作速度が設計時の見積もりとは異なるなど動作不良の一因となるおそれがある。

【0003】よってICの設計時には、製作途中または製作後のICの予測される形状や動作を知るために多くのシミュレータが用いられる。各工程の処理時間や温度設定等のパラメータの変化でIC中の各場所のプロファイルがどう変わるかや断面や表面の形状がどうなるかを予測するプロセスシミュレータ、不純物プロファイルや酸化膜形状、電極もしくは配線の形状等の情報から各素子の電気的パラメータを計算するデバイスシミュレータ、回路が設計どおり動作するかを検証する回路シミュレータ等があるが、これらを用いてシミュレーションを繰り返し、予想されるICの形状や動作をできるだけ忠実に再現して最適な設計を図ることが行なわれている。

【0004】このようなシミュレーション技術のうち、導体からなる電極もしくは配線領域と、誘電体とで構成された構造に対して、ラプラス方程式あるいは必要があればポアソン方程式や電流連続の式、電流のドリフト・拡散の式（これらを以下、単に“方程式”と略称する）を数値計算で解き電位分布を求め、これと構造内の電荷量分布とを用いて各電極もしくは配線間の容量を求めるという容量シミュレーションがある。方程式を数値計算で解くことや容量値を求めることは、例えば特開平3-89531号公報や特開平5-89212号公報に開示されているように広く研究が行なわれている。

【0005】さて容量値は、上述のように構造内の電荷

量分布と空間の電位分布に依存し、これは換言すれば、与えられた構造に含まれる誘電体の誘電率と、誘電体及び導体の形状とに依存することになる。よって、高精度のシミュレーションを行なうためには構造について正確な情報が与えられる必要がある。

【0006】また、導体からなる電極もしくは配線領域の構造から、集積回路内の抵抗値やインダクタンスを求める技術もあるが、これについても同様に、構造についての正確な情報が与えられなければならない。

10 【0007】特に現在、三次元構造での容量シミュレーション実現への要求が高まっているが、IC内部の複雑な三次元構造は人手では推定することが困難であり、形状シミュレーションにより求める必要がある。

【0008】ここで形状シミュレーションとは、ICのウェハ製造工程で使用するマスクとプロセス条件とを与えて製造後の半導体素子や配線の形状を模擬的に再現する技術であり、上記のプロセスシミュレータで行われるものである。この形状シミュレーションにおいては、解析する領域をセルと呼ばれる微小領域に分割して形状の表現を行なうものが多い。

20 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしこのようなセルを用いた形状シミュレーション技術は研究途上にあるため、特に三次元の複雑な構造を対象とする場合には、実際の製造プロセスによれば完全に除去されるべきはずの金属部分や半導体基板の一部等の材質が、形状シミュレーションの結果に残ってしまうことがある。これは、セルという離散化した形状を用いて計算を行なうため誤差が生じてしまうことに起因する。そのため、形状シミュレーションで得られた導体領域を単純に電極もしくは配線と認識すると、実際の構造とは異なった条件で容量シミュレーション等のシミュレーションを行なってしまうことになる。特に容量シミュレーションの場合は容量値が導体領域同士とその間の誘電体の物性と配置関係とで決まる物理量なので誤差から生じる微小な導体領域が高精度化の妨げとなる。このような場合への対処法は未だ確立されていない。

【0010】そこで本発明は、セルを用いた形状シミュレーションで発生した離散化による誤差を除去し、その後のシミュレーション、例えば容量シミュレーションの精度を向上させる技術を提供することを目的とする。

40 【0011】

【課題を解決するための手段】この発明のうち請求項1にかかるものは、各々が材質及び位置の情報を有する単位領域の集合として、集積回路の構造を求める第1のステップと、前記材質が導体である前記単位領域の連結体を導体領域として認識し、前記導体領域の総数及び前記導体領域のそれぞれを含む前記単位領域の数を算出する第2のステップと、前記導体領域のそれぞれについて、前記単位領域の数が電極もしくは配線の領域とみなす基

準を満たすかどうかを判定する第3のステップと、前記第3のステップにおいて前記基準を満たさなかった前記導体領域を含む全ての前記単位領域の材質を非導体に置換する第4のステップと、前記第4のステップで前記材質が置換されたものも含め、前記単位領域の前記材質及び位置の情報を用いて、所定の方程式を解いて前記集積回路の物理的性質を求める第5のステップとを備えることを特徴とする集積回路のシミュレーション方法である。

【0012】この発明のうち請求項2にかかるものは、前記基準とは、前記導体領域を含む前記単位領域の数が、予め設定した設定値以上か否かである、請求項1記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0013】この発明のうち請求項3にかかるものは、前記設定値とは、前記集積回路でシミュレーションの対象となる全領域での前記単位領域の総数と所定の割合との積である、請求項2記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0014】この発明のうち請求項4にかかるものは、前記設定値とは、前記導体領域のそれぞれが含む前記単位領域の数の最大値と所定の割合との積である、請求項2記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0015】この発明のうち請求項5にかかるものは、前記基準とは、前記導体領域について、それぞれの前記導体領域を含む前記単位領域の数の大きい方から数えたときの順位が、予め設定された設定値以内にあるか否かである、請求項1記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0016】この発明のうち請求項6にかかるものは、各々が材質及び位置の情報を有する単位領域の集合として、集積回路の構造を求める第1のステップと、前記材質が導体である前記単位領域の連結体を導体領域として認識し、前記導体領域の総数を算出し、三次元シミュレーションの場合は前記導体領域の体積を算出し、二次元シミュレーションの場合は前記導体領域の面積を算出する第2のステップと、前記導体領域のそれぞれについて、前記単位領域の体積もしくは面積が電極もしくは配線の領域とみなす基準を満たすかどうかを判定する第3のステップと、前記第3のステップにおいて前記基準を満たさなかった前記導体領域を含む全ての前記単位領域の材質を非導体に置換する第4のステップと、前記第4のステップで前記材質が置換されたものも含め、前記単位領域の前記材質及び位置の情報を用いて、所定の方程式を解いて前記集積回路の物理的性質を求める第5のステップとを備えることを特徴とする集積回路のシミュレーション方法である。

【0017】この発明のうち請求項7にかかるものは、前記基準とは、三次元シミュレーションの場合は前記導体領域の体積が予め設定した設定値以上か否かであり、二次元シミュレーションの場合は前記導体領域の面積が

予め設定した設定値以上か否かである、請求項6記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0018】この発明のうち請求項8にかかるものは、前記設定値とは、三次元シミュレーションの場合は前記集積回路でシミュレーションの対象となる全領域の体積と所定の割合との積であり、二次元シミュレーションの場合は前記集積回路でシミュレーションの対象となる全領域の面積と所定の割合との積である、請求項7記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0019】この発明のうち請求項9にかかるものは、前記設定値とは、三次元シミュレーションの場合は前記導体領域の体積の最大値と所定の割合との積であり、二次元シミュレーションの場合は前記導体領域の面積の最大値と所定の割合との積である、請求項7記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0020】この発明のうち請求項10にかかるものは、前記基準とは、前記導体領域について、三次元シミュレーションの場合はそれぞれの前記導体領域の体積の大きい方から数えたときの順位が、予め設定された設定値以内にあるか否かであり、二次元シミュレーションの場合はそれぞれの前記導体領域の面積の大きい方から数えたときの順位が、予め設定された設定値以内にあるか否かである、請求項6記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0021】この発明のうち請求項11にかかるものは、前記第4のステップにおいて、置換されるべき前記導体領域が、その最表面を形成する前記単位領域の有する境界のうち予め設定した方向の境界で隣接している前記単位領域の材質で置換される、請求項1乃至10のいずれか一つに記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0022】この発明のうち請求項12にかかるものは、前記第4のステップは、置換されるべき前記導体領域と、これに隣接する少なくとも一つの前記単位領域で構成される隣接領域との境界の大きさを前記隣接領域の前記材質ごとに求める第6のステップと、前記境界の大きさの最大値を与える前記材質の種類を以て前記置換されるべき導体領域の前記材質を置換する第7のステップとを備える、請求項1乃至10のいずれか一つに記載の集積回路のシミュレーション方法である。

【0023】この発明のうち請求項13にかかるものは、集積回路の構成を集合して表し、各々が材質及び位置の情報を有する単位領域の集合に対して、前記材質が導体である前記単位領域の連結体を導体領域として認識し、前記導体領域の総数を算出する第1のステップと、前記導体領域のそれぞれについて電極もしくは配線の領域とみなす基準を満たすかどうかを判定する第2のステップと、前記第2のステップにおいて前記基準を満たさなかった前記導体領域を含む全ての前記単位領域の材質を非導体に置換する第3のステップと、前記第3のステ

ップで前記材質が置換されたものも含め、前記単位領域の前記材質及び位置の情報をを用いて、所定の方程式を解いて前記集積回路の物理的性質を求める第4のステップとを実現するプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0024】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は本実施の形態の動作を示すフローチャートであり、図2及び図3は、図1に示されたフローチャートの動作結果を例示する概念図である。但し、図示の簡単のため、図2及び図3では二次元のセルについて示しているが、三次元のセルについて同様に処理できることは言うまでもない。

【0025】まず、ステップS2でセルを用いた公知の形状シミュレーションを行なう。ここで全てのセルの数は N_{total} であり、その各々に対して材質及び位置についての情報が与えられている。次にステップS3で、形状シミュレーションの結果から導体領域を抽出し、導体領域の総数 N_c と各導体領域 c_i (i は導体領域ごとに順に割り当てた番号、以下同じ)を構成するセル数 $N_{cell}(i)$ とを算出する。ここで導体領域とは、互いに隣接し、いずれも材質が導電体である単位領域の一かたまり(本願では「連結体」と称す)を以て定義される。

【0026】図2はステップS2の結果を例示しており、導体領域は $c_1 \sim c_4$ であって導体領域数は $N_c = 4$ となる。そして各導体領域を構成するセル数は $N_{cell}(1) = 16$, $N_{cell}(2) = 8$, $N_{cell}(3) = 1$, $N_{cell}(4) = 1$ と認識される。

【0027】そしてステップS4において番号 i を1に初期化する。その後ステップS5.1で、セル数 $N_{cell}(i)$ は、導体領域 c_i が電極もしくは配線とみなされるのに最低限必要と予め設定された最低セル数 $N_{cellmin}$ 以上であるか否かが判断される。そして“Y es”と判断された場合はステップS6へ進み、その導体領域 c_i を電極もしくは配線と設定する。“N o”と判断されればステップS100へ進み、その導体領域 c_i を、いずれかの予め定めておいた方向に導体領域 c_i の最表面が隣接する誘電体 ϵ_k (k は誘電体の種類ごとに順に割り当てた番号で k_m 個の種類があるとする、以下同じ)で置換する。ここで誘電体とは、材質が非導電体であることを意味する。また「最表面」とは、導体領域である連結体が、誘電体のセルと隣接する面を指す。従って、導体のセルのみに囲まれた導体のセルであっても、置換されるべきであると判断された導体領域に存在する限り、当該導体領域の最表面に隣接する誘電体のいずれかで置換されることになる。

【0028】ステップS7において番号 i を更新し、ステップS8において番号 i が導体領域数 N_c を越えるまで、ステップS5.1, S6 (あるいはステップS100)が繰り返される。これによってすべての導体領域 c_i は電極もしくは配線と設定されるか、又は隣接する誘

電体 ϵ_k へと置換される。

【0029】図3は図2に示された結果に対してステップS5.1, S6 (あるいはステップS100)が繰り返され、ステップS8において“Y es”と判断された結果を例示している。ここでは、電極もしくは配線とみなす最低セル数が予め $N_{cellmin} = 5$ で設定されていたとしており、また導体領域 c_i はその上方に隣接する誘電体 ϵ_k で置換することとしている。 c_1 , c_2 はそれぞれ電極もしくは配線 e_1 , e_2 として設定され、 c_3 , c_4 はともに上方に位置した誘電体 ϵ_3 で置換されている。

【0030】ステップS8で $i > N_c$ と判断されると、すべての導体領域 c_i について電極もしくは配線とみなせるか否かが確定されたので、次にステップS9で各電極もしくは配線領域と各誘電体とで構成された構造に対して方程式を解き、ステップS10で各電極もしくは配線間の容量を求め処理を終える。方程式を解く手法と容量値を計算する手法は公知技術を用いればよい。

【0031】セルの形状として立方体セルを採用し、セル数 $N_{cell}(i)$ が最低セル数 $N_{cellmin}$ を下回る場合には、導体領域 c_i の上下左右前後に隣接するセルのいずれかにおける誘電体 ϵ_k を以て導体領域 c_i を置換すればよい。他の多面体セルの場合でもいずれかの面の方向を予め定めておき、その方向に隣接する誘電体で置換する。

【0032】このようにセルを用いた公知の形状シミュレーションの結果に対し、所定のセル数より少ないセル数しか有さない導体領域を形状シミュレーションの誤差として把握して非導体として取り扱い、かつその非導体を周囲の誘電体で置換するという補正を行うので、実際の素子により近似した形状を得ることができ、高精度の容量シミュレーションを行なうことができる。特に、電極もしくは配線とみなせる単位領域の最低の数が既知である場合に有利である。

【0033】実施の形態2. 図4は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態1におけるステップS5.1がステップS5.2に置換された点のみ異なっている。そしてステップS5.2は、ステップS5.1における最低セル数 $N_{cellmin}$ として、形状シミュレーションを行なった範囲の全セル数 N_{total} と所定の割合 R_{min1} との積を採用するステップである。例えば、図2及び図3は、 $N_{total} = 288$, $R_{min1} = 0.02$ と設定され、 $N_{cellmin} = 5.76$ が採用された場合を示しているといえる。

【0034】本実施の形態では、誤差として把握すべきか否かの判断を全セル数 N_{total} と所定の割合 R_{min1} との積を用いて行うので、実施の形態1と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも形状シミュレーションの範囲の大きさによらずに統一的に誤差の判断を行うことができる。

【0035】実施の形態3。図5は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態1におけるフローチャートに対して、ステップS3とステップS4との間にステップS31を挿入し、ステップS51がステップS53に置換された点のみ異なっている。

【0036】ステップS31では、各導体領域*c*_{*i*}のセル数*N*_{cell}(*i*)のうちの最大値を*N*_{cellmax}として設定する。そしてステップS53は、ステップS51における最低セル数*N*_{cellmin}として、最大値*N*_{cellmax}と所定の割合*R*_{min2}との積を採用するステップである。例えば、図2及び図3は、*N*_{cellmax} = *N*_{cell}(1) = 16, *R*_{min1} = 0.3と設定され、*N*_{cellmin} = 4.8が採用された場合を示しているといえる。

【0037】本実施の形態では、誤差として把握すべきか否かの判断を導体領域*c*_{*i*}のセル数*N*_{cell}(*i*)の最大値*N*_{cellmax}と所定の割合*R*_{min2}との積を用いて行うので、実施の形態1と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも電極や配線の大きさが互いに顕著に異ならない限り、形状シミュレーションを行なった範囲と比較して微細である場合に特に有利である。

【0038】実施の形態4。図6は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態1におけるフローチャートに対して、ステップS3とステップS4との間にステップS32を挿入し、ステップS51がステップS54に置換された点のみ異なっている。

【0039】ステップS32では、各導体領域*c*_{*i*}をセル総*N*_{cell}(*i*)が多い順、つまり、

【0040】

【数1】

$$N_{cell}(1) \geq N_{cell}(2) \geq \dots \geq N_{cell}(N_c)$$

【0041】となるように導体領域番号*i*をあらためて付け変える。

【0042】ステップS54ではセル数*N*_{cell}(*i*)の多い方から予め設定した*N*_{el}個分の導体領域*c*₁, ..., *c*_{*N*_{el}}についてはステップS6に処理を進ませ、電極もしくは配線とみなす。またそれ以外の導体領域*c*_{*N*_{el}+1}, ..., *c*_{*N*_c}についてはステップS100に進ませ、隣接する誘電体*ε*_{*k*}を以て置換する。

【0043】本実施の形態では、実施の形態1と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも形状シミュレーションを行なった範囲の電極もしくは配線数が既知である場合において、誤差の判断基準を容易に設定することができる。

【0044】実施の形態5。図7は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態1におけるフローチャートに対して、ステップS100がステップS101に置換された点のみ異なっている。ステップS101ではステップS51の判断に基づいて導体領域*c*_{*i*}を誘電体*ε*_{*k*}へ置換する点でステップS100と共

通するが、導体領域*c*_{*i*}からいずれの方向に隣接する誘電体*ε*_{*k*}で置換するかについても場合を分けて決定する点で異なっている。

【0045】図8はステップS101の内容を示すフローチャートである。まずステップSB1で導体領域*c*_{*i*}の有する面*S*(*i*, *j*)(*j*は*c*_{*i*}毎に1から順に割り当てた番号)を認識し、その個数*j*_mを算出する。つまり導体領域*c*_{*i*}は*j*_m個の面*S*(*i*, 1), ..., *S*(*i*, *j*_m)を持つ。

【0046】次にステップSB2において番号*j*を1に初期化し、ステップSB3で導体領域*c*_{*i*}の有する面*S*(*i*, *j*)に隣接する誘電体*ε*_{*k*}の種類*k*を認識する。次にステップSB4で、面*S*(*i*, *j*)に隣接する誘電体*ε*_{*k*}の面積*A*(*j*, *k*)を、面*S*(*i*, *j*)に隣接する誘電体*ε*_{*k*}のセルの数から算出する。

【0047】そして、ステップSB5において番号*j*を更新し、ステップSB6を経て、導体領域*c*_{*i*}が有するすべての面*S*(*i*, 1), ..., *S*(*i*, *j*_m)についてステップSB3, SB4を繰り返して実行する。

【0048】次にステップSB7において番号*k*を1に初期化し、ステップSB8において誘電体*ε*_{*k*}の種類*k*毎に面積*A*(*j*, *k*)について和をとる。つまり、

【0049】

【数2】

$$\sigma_k = \sum_{j=1}^{j_m} A(j, k)$$

【0050】となる*σ*_{*k*}を求める。ステップSB9において番号*k*を更新し、ステップSB10を経て全ての誘電体*ε*_{*k*}の種類についてステップSB8以降を繰り返せば、導体領域*c*_{*i*}に隣接した誘電体*ε*_{*k*}の総面積*σ*_{*k*}が求められる。ここで*σ*_{*q*} = 0の場合は、導体領域*c*_{*i*}には誘電体*ε*_{*q*}(1 ≤ *q* ≤ *k*_m)が隣接していないことを意味する。

【0051】そしてステップSB11で*σ*_{*k*}の値が最大となったときの誘電体の種類*ε*_{*k*}を*ε*_{*k*max}とし、ステップSB12で導体領域*c*_{*i*}を誘電体*ε*_{*k*max}で置換する。

【0052】もし*σ*_{*k*}の値が最大となる導体領域が複数あった場合は、例えば形状シミュレーション結果の領域中でより上方にある誘電体を置換の候補として選択するなどの解決方法を用意しておけばよい。

【0053】図9及び図10は本実施の形態の動作結果を例示する概念図である。図9はステップS2の結果を例示しており、セルが二次元の正方形である場合を示している。このように二次元のセルの場合には上記面*S*(*i*, *j*)は線*S*(*i*, *j*)として、また面積*A*(*j*, *k*)は辺長*A*(*j*, *k*)として把握される。

【0054】導体領域は*c*₁ ~ *c*₃であり、導体領域数は*N*_c = 3、各導体領域を構成するセル数は*N*_{cell}(1) = 8, *N*_{cell}(2) = 12, *N*_{cell}(3) = 1と

認識される。誘電体は $\varepsilon 1 \sim \varepsilon 4$ である。

【0055】電極もしくは配線とみなす最低セル数が予め $N_{cellmin} = 5$ と設定されていたとすれば導体領域 $c 1$, $c 2$ は電極もしくは配線とみなされる。内包するセル数が $N_{cellmin}$ 以下の導体領域 $c 3$ については、二次元平面の場合であるのでその接する辺長の最大となる誘電体で置換する。

【0056】導体領域 $c 3$ はその上下左右にそれぞれ線 $S(3, 1)$, $S(3, 2)$, $S(3, 3)$, $S(3, 4)$ を有している。ステップSB4に関して言えば、導体領域 $c 3$ の上に存在する線 $S(3, 1)$ には誘電体 $\varepsilon 4$ が隣接し、他の誘電体は線 $S(3, 1)$ には隣接していないので、 $A(1, 1) = A(1, 2) = A(1, 3) = 0$, $A(1, 4) = 1$ となる。また、導体領域 $c 3$ の下に存在する線 $S(3, 2)$ には誘電体 $\varepsilon 2$ が隣接し、他の誘電体は線 $S(3, 2)$ には隣接していないので、 $A(2, 1) = A(2, 3) = A(2, 4) = 0$, $A(2, 2) = 1$ となる。同様にして、 $A(3, 1) = A(3, 2) = A(3, 4) = A(4, 1) = A(4, 2) = A(4, 3) = 0$, $A(3, 3) = A(4, 4) = 1$ となる。

【0057】そしてステップSB8に関して言えば、 $\sigma 1 = 0$, $\sigma 2 = \sigma 3 = 1$, $\sigma 4 = 2$ となり、ステップSB11において $\varepsilon_{kmax} = \varepsilon 4$ とされる。そしてステップSB12において導体領域 $c 3$ が誘電体 $\varepsilon 4$ で置換され、図10に示される構造が得られる。

【0058】このように本実施の形態では、形状シミュレーションから得られた結果を補正して高精度の容量シミュレーションを行なうことができるという点で実施の形態1と同様の効果を得ることができ、更に導体領域をこれに隣接する誘電体を以って置換する場合、これに最も広い範囲で隣接する誘電体を採用するので、実際の素子により近似した形状を得ることができ、より高精度な容量シミュレーションを実現できる。

【0059】勿論、実施の形態1のステップS100は、置換に用いる誘電体を簡易に決定できると言う観点では望ましい。

【0060】実施の形態6. 図11は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態5におけるステップS51が、実施の形態2で示されたステップS52に置換された点のみ異なっている。換言すれば、実施の形態2におけるステップS100が、実施の形態5で示されたステップS101に置換された点のみ異なっている。

【0061】従って、実施の形態5と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも実施の形態2と同様に形状シミュレーションの範囲の大きさによらずに統一的に誤差の判断を行うことができる。

【0062】実施の形態7. 図12は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態5にお

いてステップS3とステップS4との間に実施の形態3で示されたステップS31が挿入され、ステップS51が実施の形態3で示されたステップS53に置換された点のみ異なっている。換言すれば、実施の形態3におけるステップS100が、実施の形態5で示されたステップS101に置換された点のみ異なっている。

【0063】従って、実施の形態5と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも実施の形態3と同様に電極や配線の大きさが互いに顕著に異なる限り、形状シミュレーションを行なった範囲と比較して微細である場合に特に有利である。

【0064】実施の形態8. 図13は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態5においてステップS3とステップS4との間に実施の形態3で示されたステップS32が挿入され、ステップS51が実施の形態4で示されたステップS54に置換された点のみ異なっている。換言すれば、実施の形態4におけるステップS100が、実施の形態5で示されたステップS101に置換された点のみ異なっている。

【0065】従って、実施の形態5と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも実施の形態4と同様に形状シミュレーションを行なった範囲の電極もしくは配線数が既知である場合において、誤差の判断基準を容易に設定することができる。

【0066】実施の形態9. 図14は本実施の形態の動作を示すフローチャートである。

【0067】まず、ステップS201でセルを用いた公知の形状シミュレーションを行なう。ここで、シミュレーションを行なった領域の全体積は V_{total} であり、セルの各々に対して材質及び位置についての情報が与えられている。次にステップS301で、形状シミュレーションの結果から導体領域を抽出し、導体領域の総数 N_c と各導体領域 $c i$ の体積 $V(i)$ とを算出する。

【0068】そしてステップS4において番号 i を1に初期化する。その後ステップS510で、体積 $V(i)$ は、導体領域 $c i$ が電極もしくは配線とみなされるのに最低限必要と予め設定された最低体積 V_{min} 以上であるかが判断される。そして“Y e s”と判断された場合はステップS6へ進み、その導体領域 $c i$ を電極もしくは配線と設定する。“N o”と判断されればステップS100へ進み、その導体領域 $c i$ を、いずれかの予め決めておいた方向に導体領域 $c i$ の最表面が隣接する誘電体 εk で置換する。従って、導体のセルのみに囲まれた導体のセルであっても、置換されるべきであると判断された導体領域に存在する限り、当該導体領域の最表面に隣接する誘電体のいずれかで置換されることになる。

【0069】ステップS7において番号 i を更新し、ステップS8において番号 i が導体領域数 N_c を越えるまで、ステップS510, S6 (あるいはステップS100) が繰り返される。これによってすべての導体領域 c

i は電極もしくは配線と設定されるか、又は隣接する誘電体 ϵ_k へと置換される。

【0070】ステップ S 8 で $i > N_c$ と判断されると、すべての導体領域 c_i について電極もしくは配線とみなせるか否かが確定されたので、次にステップ S 9 で各電極もしくは配線領域と各誘電体とで構成された構造に対して方程式を解き、ステップ S 10 で各電極もしくは配線間の容量を求め処理を終える。方程式を解く手法と容量値を計算する手法は公知技術を用いればよい。

【0071】セルの形状として立方体セルを採用し、体積 $V(i)$ が最低体積 V_{min} を下回る場合には、導体領域 c_i の上下左右前後に隣接するセルのいずれかにおける誘電体 ϵ_k を以って導体領域 c_i を置換すればよい。他の多面体セルの場合でもいずれかの面の方向を予め定めておき、その方向に隣接する誘電体で置換する。

【0072】このようにセルを用いた公知の形状シミュレーションの結果に対し、所定の体積より少ない体積しか有さない導体領域を形状シミュレーションの誤差として把握して非導体として取り扱い、かつその非導体を周囲の誘電体で置換するという補正を行うので、実際の素子により近似した形状を得ることができ、高精度の容量シミュレーションを行なうことができる。特に、電極もしくは配線とみなせる体積の最低の量が既知である場合に有利である。また、ここでは、三次元シミュレーションを前提としたが、二次元シミュレーションの場合は、上の“体積”とあるのを“面積”と読み替えればよい（以下の記述でも同様）。

【0073】また本実施の形態では、セル数ではなく導体領域の体積を基に置換すべきか否かを判定しているので、セルの体積が一定ではなく、場所によって異なる場合に有効である。

【0074】実施の形態 10。図 15 は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態 9 におけるステップ S 510 がステップ S 520 に置換された点のみ異なっている。そしてステップ S 520 は、ステップ S 510 における最低体積 V_{min} として、形状シミュレーションを行なった範囲の全体積 V_{total} と所定の割合 R_{min3} との積を採用するステップである。

【0075】本実施の形態では、誤差として把握すべきか否かの判断を全体積 V_{total} と所定の割合 R_{min3} との積を用いて行うので、実施の形態 9 と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも形状シミュレーションの範囲の大きさによらずに統一的に誤差の判断を行うことができる。

【0076】実施の形態 11。図 16 は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態 9 におけるフローチャートに対して、ステップ S 3 とステップ S 4 との間にステップ S 310 を挿入し、ステップ S 510 がステップ S 530 に置換された点のみ異なっている。

【0077】ステップ S 310 では、各導体領域 c_i の体積 $V(i)$ のうちの最大値を V_{max} として設定する。そしてステップ S 530 は、ステップ S 510 における最低体積 V_{min} として、最大値 V_{max} と所定の割合 R_{min4} との積を採用するステップである。

【0078】本実施の形態では、誤差として把握すべきか否かの判断を導体領域 c_i の体積 $V(i)$ の最大値 V_{max} と所定の割合 R_{min4} との積を用いて行うので、実施の形態 9 と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも電極や配線の大きさが互いに顕著に異なる限り、形状シミュレーションを行なった範囲と比較して微細である場合に特に有利である。

【0079】実施の形態 12。図 17 は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態 9 におけるフローチャートに対して、ステップ S 3 とステップ S 4 との間にステップ S 320 を挿入し、ステップ S 510 がステップ S 54 に置換された点のみ異なっている。

【0080】ステップ S 320 では、各導体領域 c_i を体積 $V(i)$ が大きい順、つまり、

【0081】

【数 3】

$$V(1) \geq V(2) \geq \dots \geq V(N_c)$$

【0082】となるように導体領域番号 i をあらためて付け変える。

【0083】ステップ S 54 では体積 $V(i)$ の多い方から予め設定した N_{el} 個分の導体領域 $c_1, \dots, c_{N_{el}}$ についてはステップ S 6 に処理を進ませ、電極もしくは配線とみなす。またそれ以外の導体領域 $c_{N_{el}+1}, \dots, c_{N_c}$ についてはステップ S 100 に進ませ、隣接する誘電体 ϵ_k を以って置換する。

【0084】本実施の形態では、実施の形態 9 と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、しかも形状シミュレーションを行なった範囲の電極もしくは配線数が既知である場合において、誤差の判断基準を容易に設定することができる。

【0085】実施の形態 13。図 18 は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態 9 におけるフローチャートに対して、ステップ S 100 がステップ S 101 に置換された点のみ異なっている。ステップ S 101 は実施の形態 5 に詳述したとおりであり、本実施の形態では、形状シミュレーションから得られた結果を補正して高精度の容量シミュレーションを行なうことができる。また、セルの体積が場所により異なるときも容量シミュレーションを精度よく行なえるという点で実施の形態 9 と同様の効果を得ることができ、更に導体領域をこれに隣接する誘電体を以って置換する場合、これに最も広い範囲で隣接する誘電体を採用するので、実際の素子により近似した形状を得ることができ、より高精度な容量シミュレーションを実現できる。

【0086】勿論、実施の形態9のステップS100は、置換に用いる誘電体を簡易に決定できるという観点では望ましい。

【0087】実施の形態14、図19は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態13におけるステップS510が、実施の形態10で示されたステップS520に置換された点のみ異なっている。換言すれば、実施の形態10におけるステップS100が、実施の形態13で示されたステップS101に置換された点のみ異なっている。

【0088】従って、実施の形態13と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、また、セルの体積が場所により異なるときも容量シミュレーションを精度よく行なえ、しかも実施の形態10と同様に形状シミュレーションの範囲の大きさによらずに統一的に誤差の判断を行うことができる。

【0089】実施の形態15、図20は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態13においてステップS3とステップS4との間に実施の形態11で示されたステップS310が挿入され、ステップS510が実施の形態11で示されたステップS530に置換された点のみ異なっている。換言すれば、実施の形態11におけるステップS100が、実施の形態13で示されたステップS101に置換された点のみ異なっている。

【0090】従って、実施の形態13と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、また、セルの体積が場所により異なるときも容量シミュレーションを精度よく行なえ、しかも実施の形態11と同様に電極や配線の大きさが互いに顕著に異なる限り、形状シミュレーションを行なった範囲と比較して微細である場合に特に有利である。

【0091】実施の形態16、図21は本実施の形態の動作を例示するフローチャートであり、実施の形態13においてステップS3とステップS4との間に実施の形態11で示されたステップS320が挿入され、ステップS510が実施の形態12で示されたステップS54に置換された点のみ異なっている。換言すれば、実施の形態12におけるステップS100が、実施の形態13で示されたステップS101に置換された点のみ異なっている。

【0092】従って、実施の形態13と同様に高精度の容量シミュレーションを行なうことができ、また、セルの体積が場所により異なるときも容量シミュレーションを精度よく行なえ、しかも実施の形態12と同様に形状シミュレーションを行なった範囲の電極もしくは配線数が既知である場合において、誤差の判断基準を容易に設定することができる。

【0093】その他、なお、本実施の形態の説明に際しては容量シミュレーションを例にとりて説明したが、他

の電気的特性をシミュレーションする方法において適用し得ることは当然である。しかし、容量シミュレーションのように、その値を求めるべき電極や配線の容量が、その他に存在する導体からの影響を受ける場合において特に、本発明は有効である。

【0094】また、本発明にかかる集積回路のシミュレーション方法は、多数のセルに対して材質の置換、セル数の勘定、体積の算出などを行なうのでコンピュータによる実行に適している。本集積回路のシミュレーション方法をコンピュータが読み取り可能な記録媒体に記録させておけば、本方法をコンピュータに実行させることは容易である。

【0095】更に、本方法は形状シミュレーションの補正という観点で捉えることもできる。従って、ステップS2（またはステップS201）を含まずにステップS3～ステップS8（またはステップS301～ステップS8）のみを実行するプログラムを記録する記録媒体を用い、これを従来の形状シミュレーションとリンクさせることも本発明の範囲内にある。

【0096】

【発明の効果】この発明のうち請求項1にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、材質及び位置の情報を有する単位領域の集合として求められた集積回路の構造に対し、離散化による誤差を取り除いて集積回路の物理的性質を高精度に求めることができる。

【0097】この発明のうち請求項2にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、請求項1にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。特に電極もしくは配線とみなせる最低単位領域数が既知である場合にはより高精度に補正することができる。

【0098】この発明のうち請求項3にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、請求項1にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。しかもシミュレーション範囲の大きさによらずに統一的に誤差の判断を行なうことができる。

【0099】この発明のうち請求項4にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、請求項1にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。特に電極もしくは配線の大きさが互いに顕著に異なる場合に、シミュレーションの範囲と比較して微細であっても高精度に補正することができる。

【0100】この発明のうち請求項5にかかるシミュレーションの方法によれば、請求項1にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。特に全シミュレーション範囲内の電極もしくは配線の総数が既知である場合にはより高精度に補正することができる。

【0101】この発明のうち請求項6にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、材質及び位置の情報

を有する単位領域の集合として求められた集積回路の構造に対し、離散化による誤差を取り除いて集積回路の物理的性質を高精度に求めることができる。特に、単位領域の体積が場所によって異なる場合に有効である。

【0102】この発明のうち請求項7にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、請求項6にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。特に電極もしくは配線とみなせる最低体積が既知である場合にはより高精度に補正することができる。

【0103】この発明のうち請求項8にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、請求項6にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。しかもシミュレーション範囲の大きさによらずに統一的に誤差の判断を行なうことができる。

【0104】この発明のうち請求項9にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、請求項6にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。特に電極もしくは配線の大きさが互いに顕著に異なる場合に、シミュレーションの範囲と比較して微細であっても高精度に補正することができる。

【0105】この発明のうち請求項10にかかるシミュレーションの方法によれば、請求項6にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。特に全シミュレーション範囲内の電極もしくは配線の総数が既知である場合にはより高精度に補正することができる。

【0106】この発明のうち請求項11にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、簡易に請求項1乃至10にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。

【0107】この発明のうち請求項12にかかる集積回路のシミュレーション方法によれば、より精度よく請求項1乃至10にかかる集積回路のシミュレーション方法と同じ効果を得ることができる。

【0108】この発明のうち請求項13にかかる記録媒体によれば、材質及び位置の情報を有する単位領域の集合として求められた集積回路の構造に対し、離散化による誤差を取り除いて集積回路の物理的性質を高精度に求める集積回路のシミュレーション方法をコンピュータに実行させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1の手順を示すフローチャートである。

【図2】 本発明の実施の形態1の例を示す構造図である。

【図3】 本発明の実施の形態1の例を示す構造図である。

【図4】 本発明の実施の形態2の手順を示すフローチャートである。

【図5】 本発明の実施の形態3の手順を示すフローチャートである。

【図6】 本発明の実施の形態4の手順を示すフローチャートである。

【図7】 本発明の実施の形態5の手順を示すフローチャートである。

【図8】 本発明の実施の形態5～8の手順の一部を示すフローチャートである。

【図9】 本発明の実施の形態5の例を示す構造図である。

【図10】 本発明の実施の形態5の例を示す構造図である。

【図11】 本発明の実施の形態6の手順を示すフローチャートである。

【図12】 本発明の実施の形態7の手順を示すフローチャートである。

【図13】 本発明の実施の形態8の手順を示すフローチャートである。

【図14】 本発明の実施の形態9の手順を示すフローチャートである。

【図15】 本発明の実施の形態10の手順を示すフローチャートである。

【図16】 本発明の実施の形態11の手順を示すフローチャートである。

【図17】 本発明の実施の形態12の手順を示すフローチャートである。

【図18】 本発明の実施の形態13の手順を示すフローチャートである。

【図19】 本発明の実施の形態14の手順を示すフローチャートである。

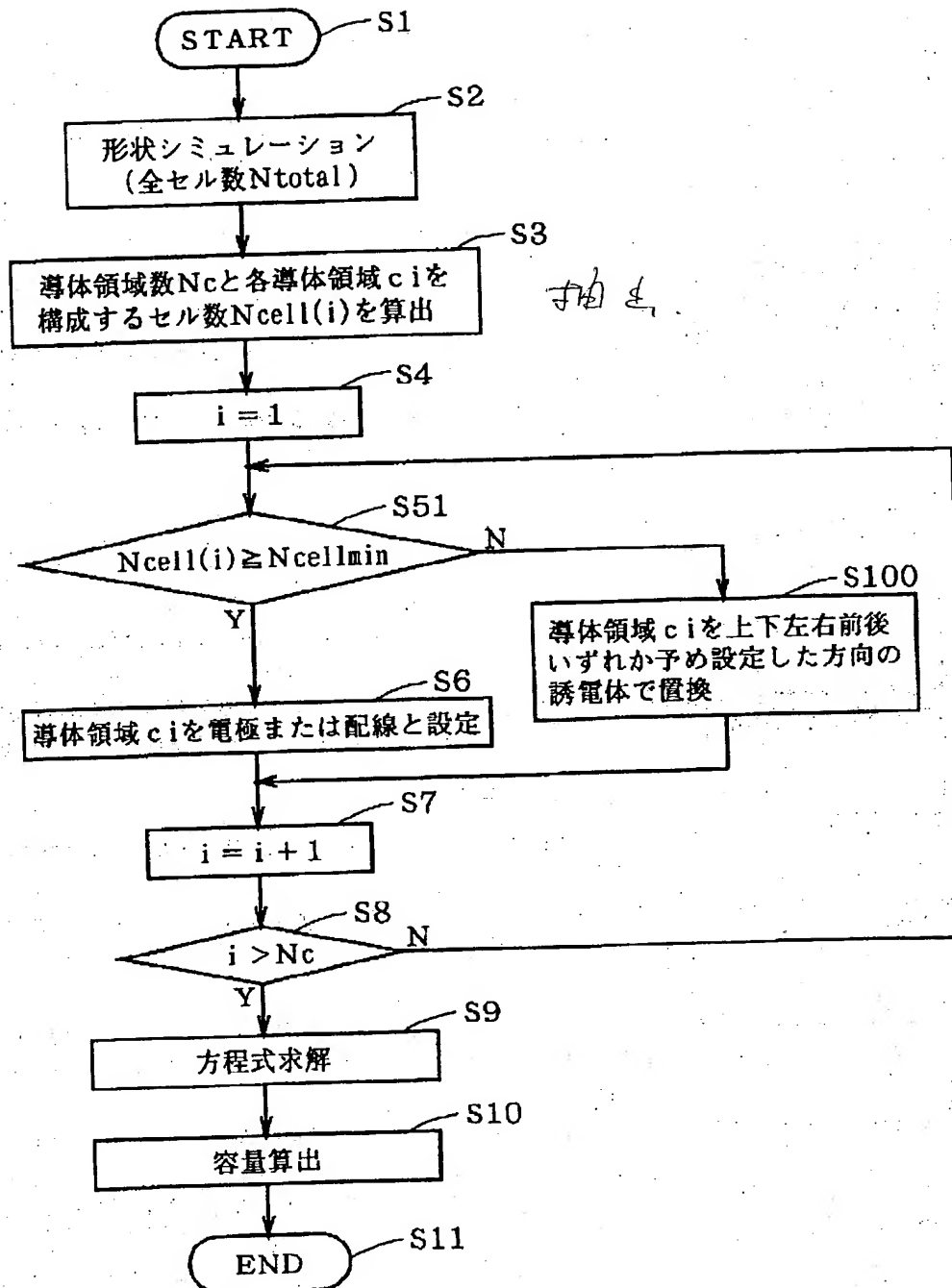
【図20】 本発明の実施の形態15の手順を示すフローチャートである。

【図21】 本発明の実施の形態16の手順を示すフローチャートである。

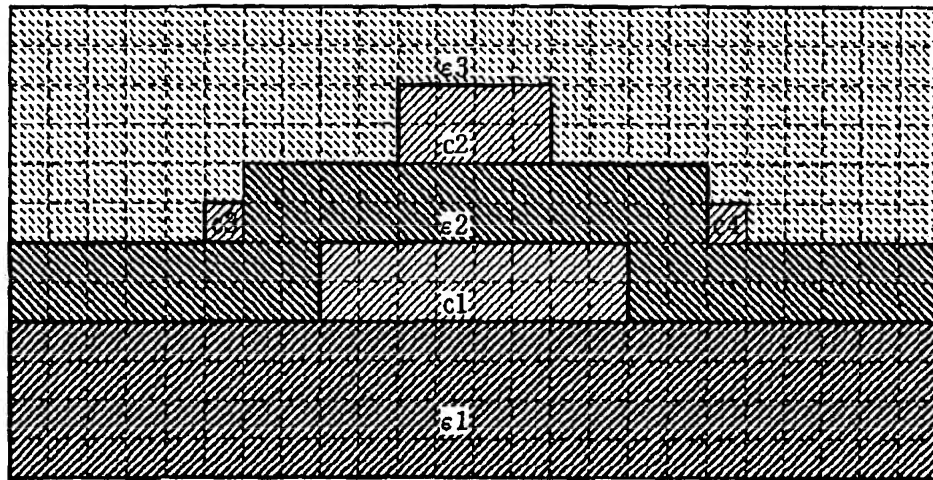
【符号の説明】


c1～c4 導体領域、 $\varepsilon 1 \sim \varepsilon 4$ 誘電体領域、e1, e2 電極もしくは配線の確定領域。

【図1】

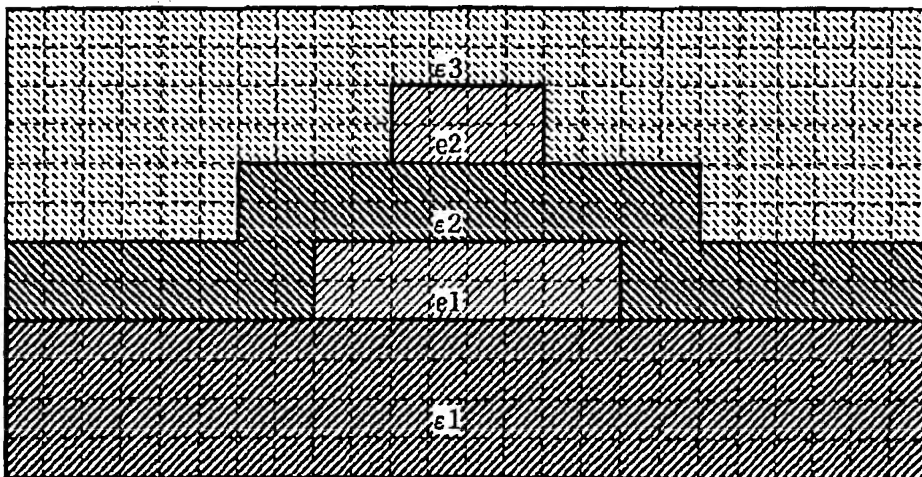



【図 2】



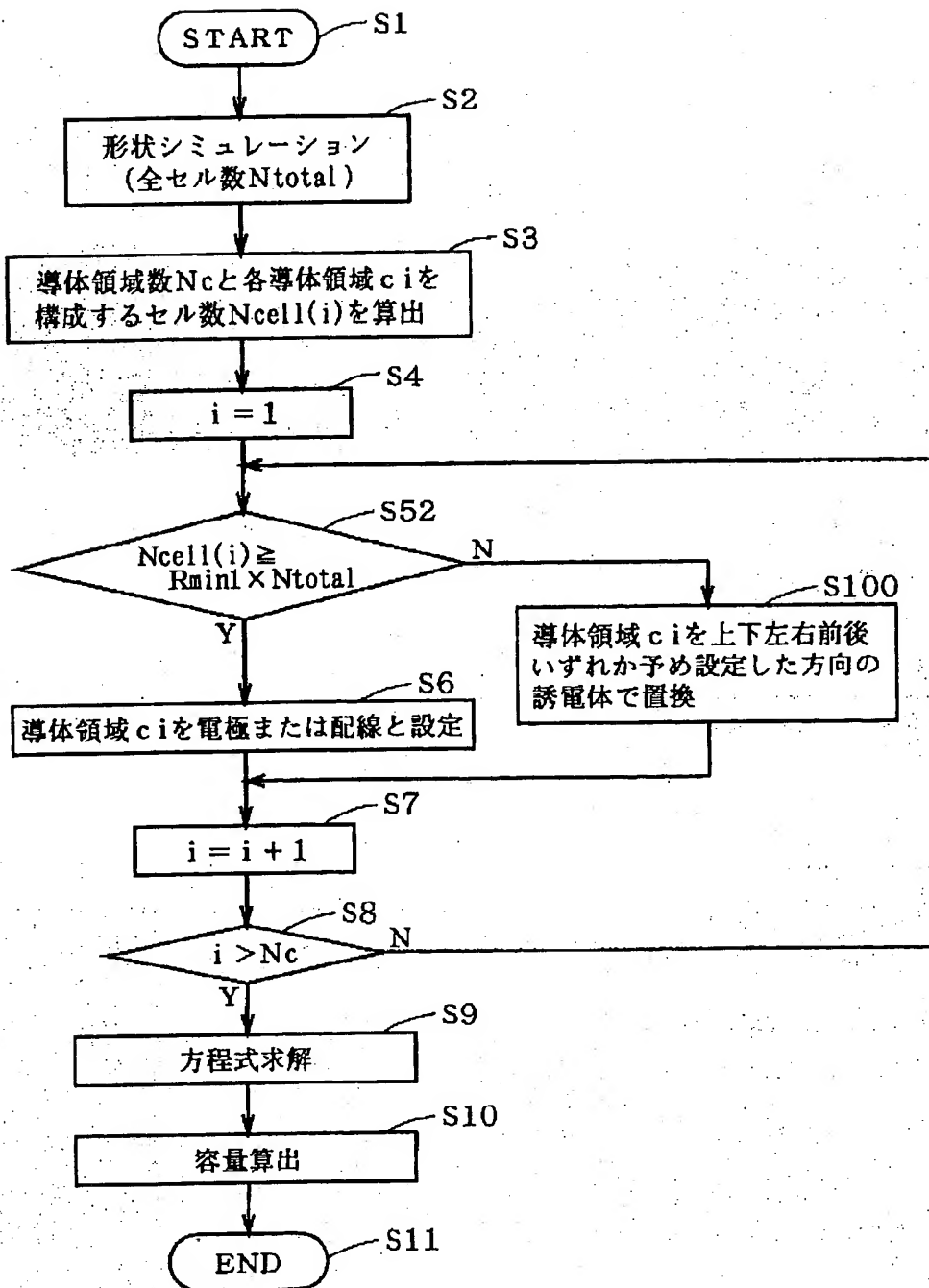
 conductor

【図 3】

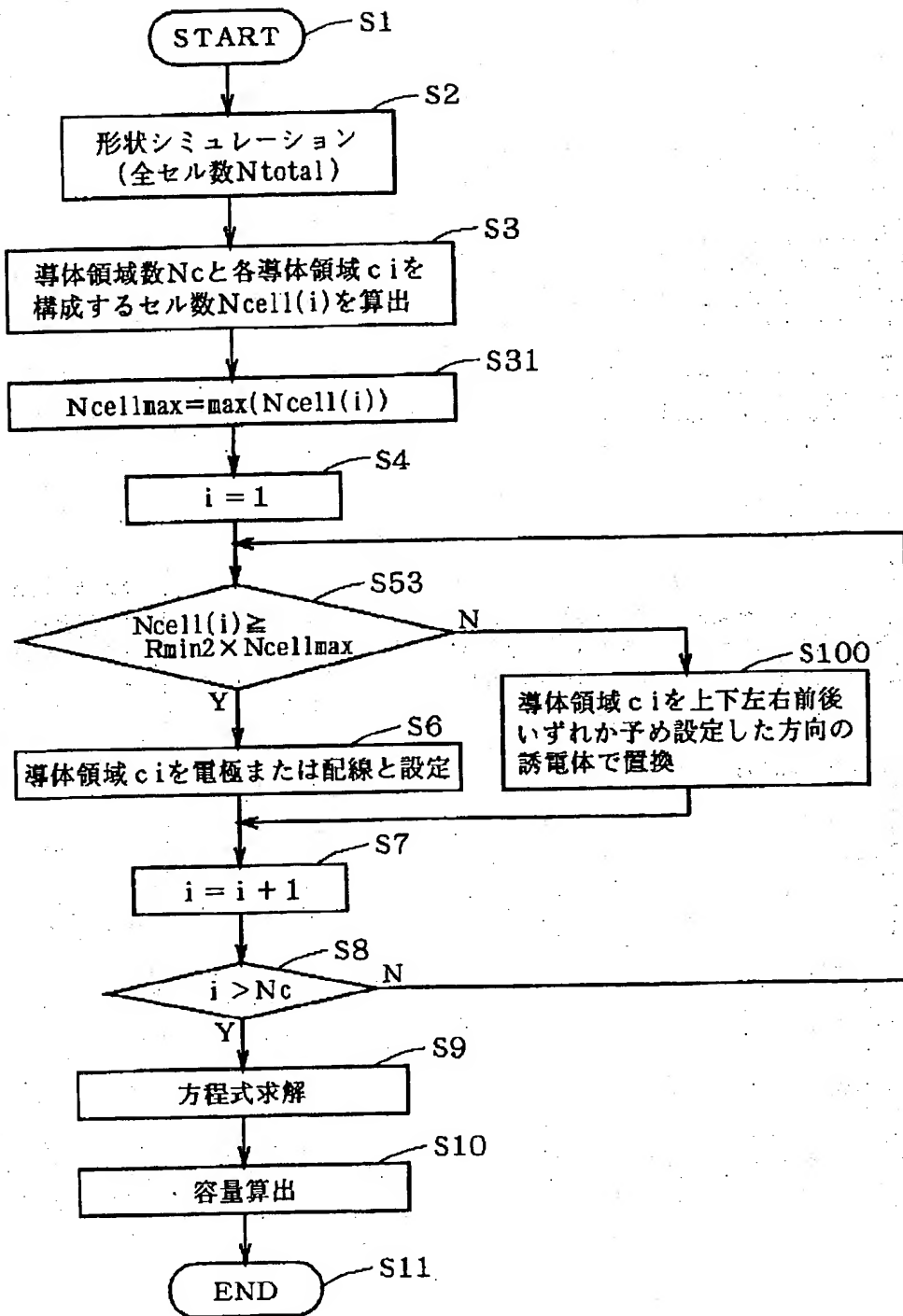


 electrode or wire

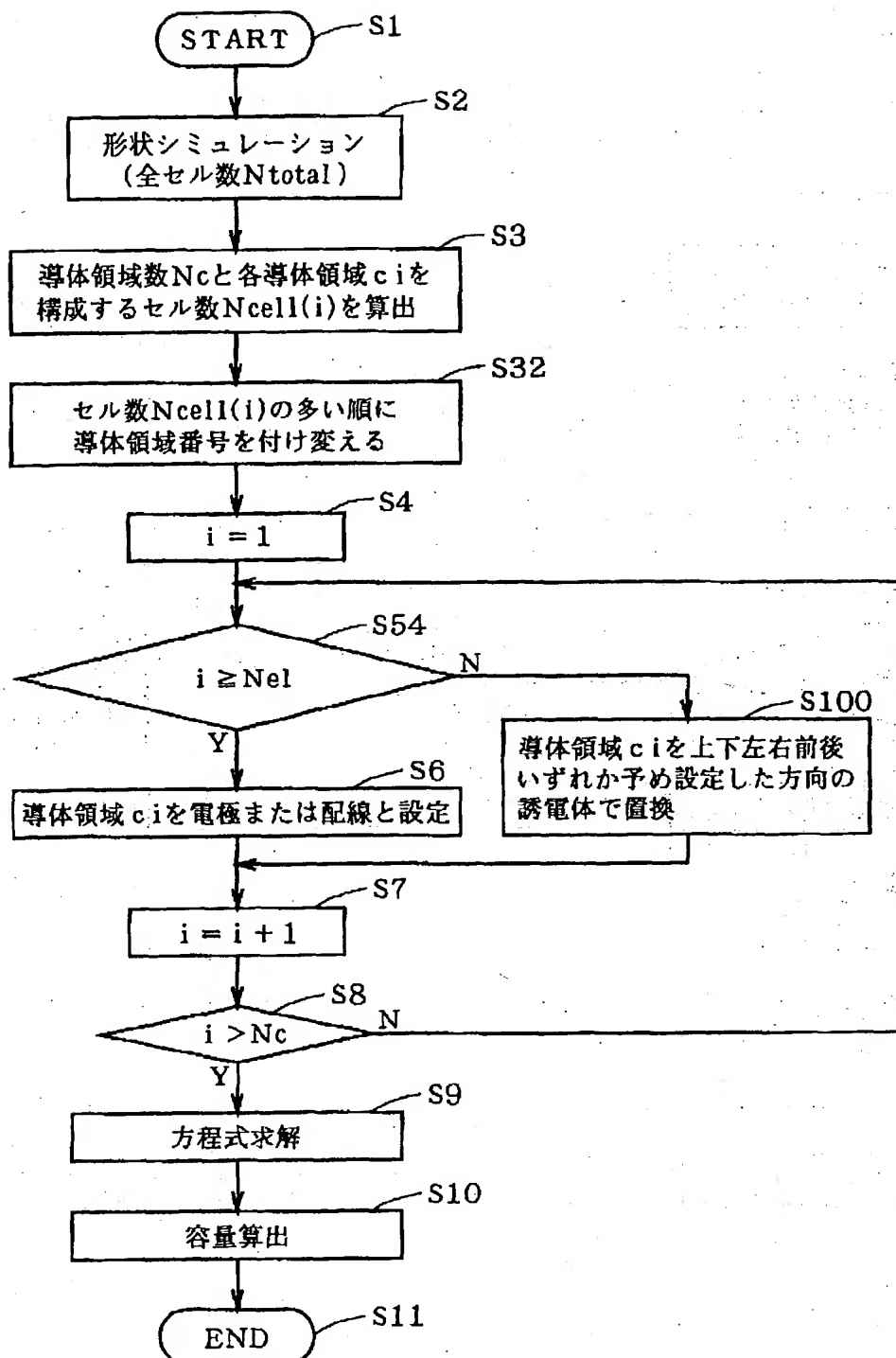
【図4】



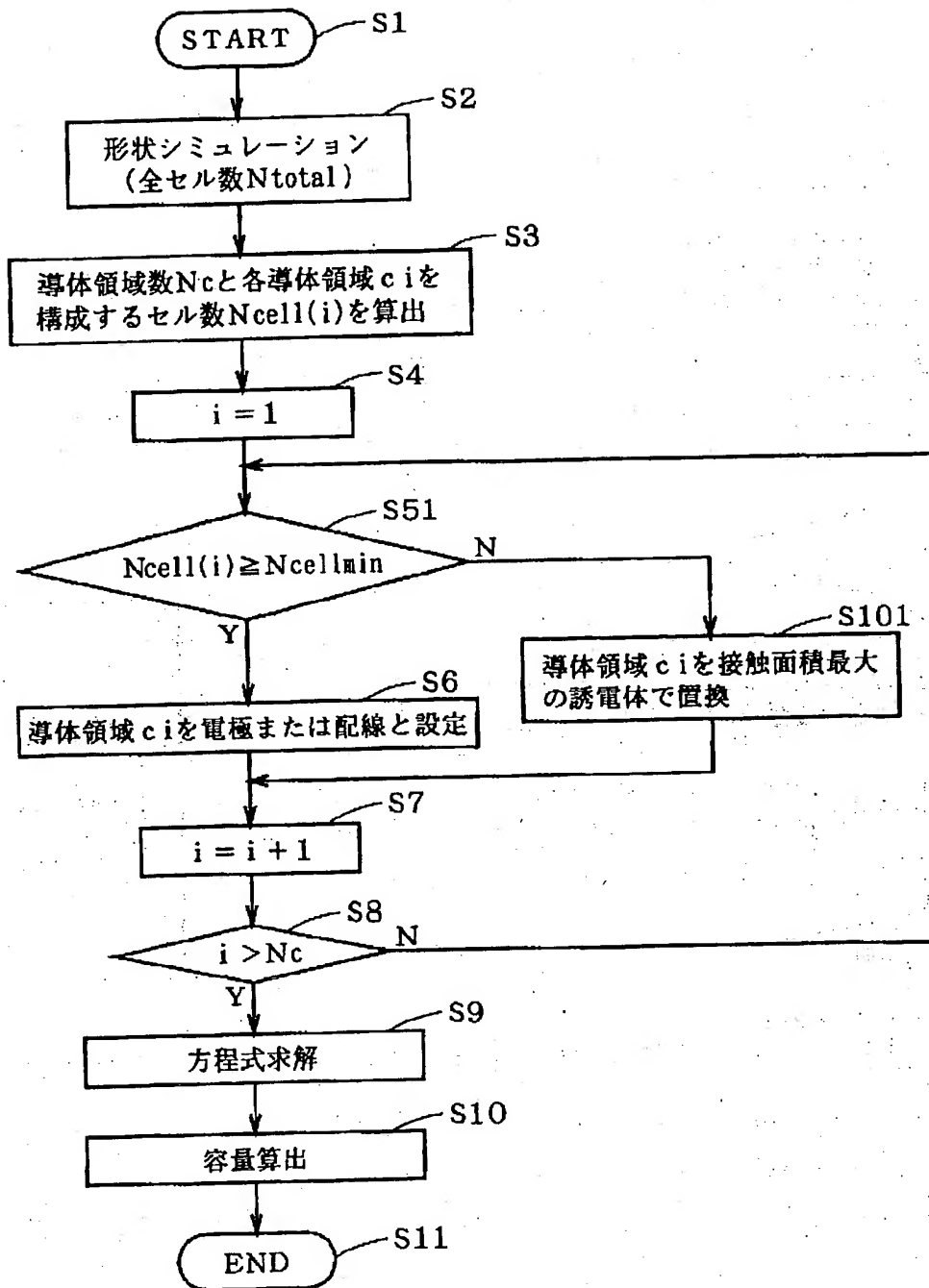
【図 5】



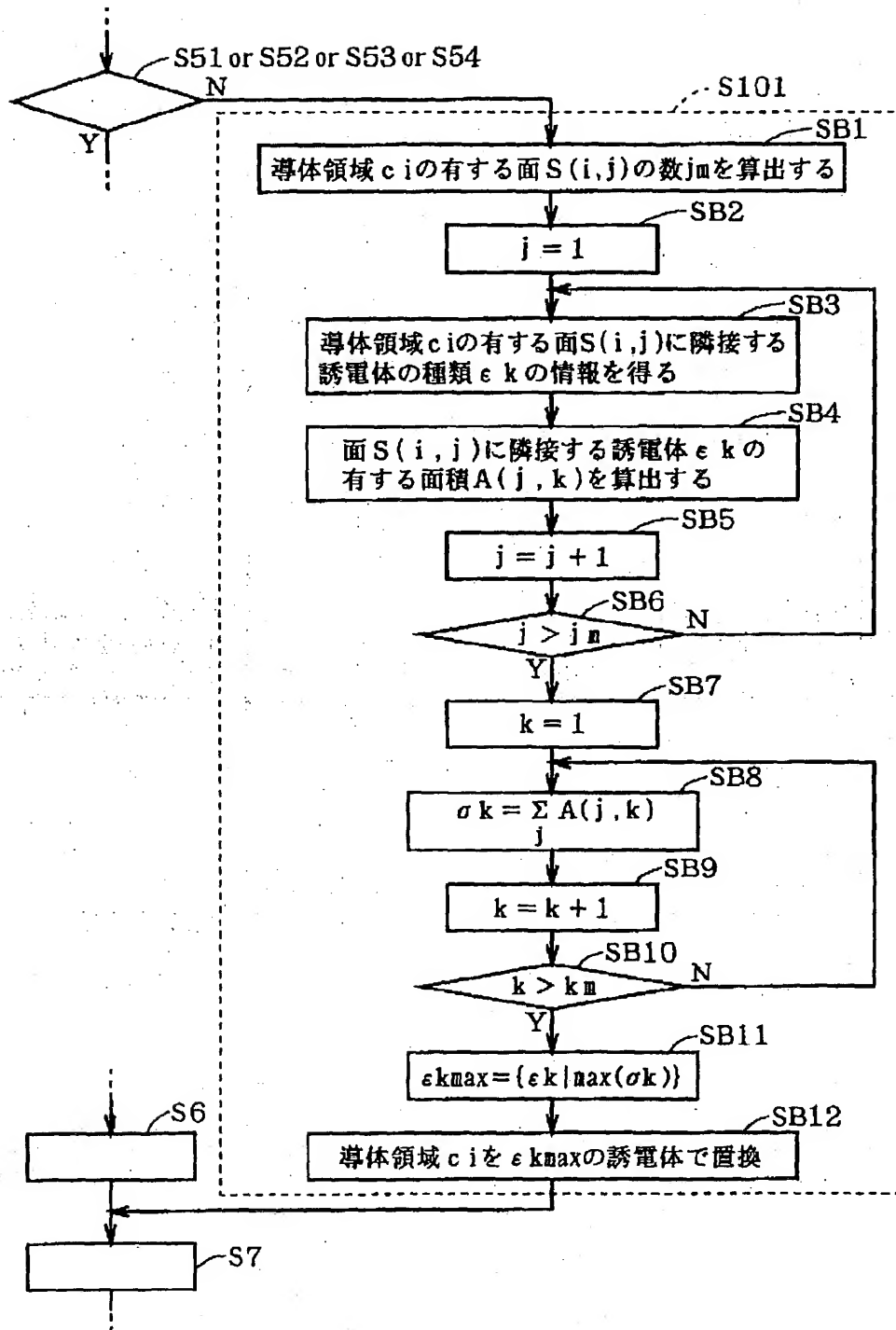
【図6】



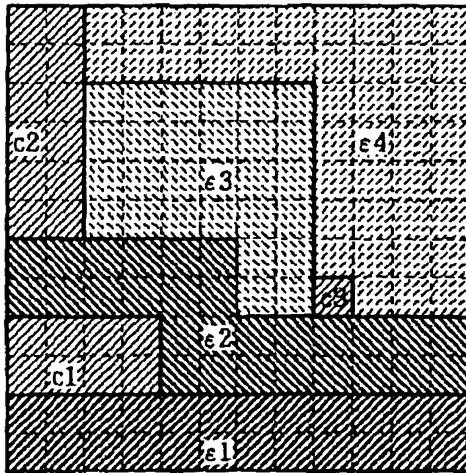
【図 7】



【図8】

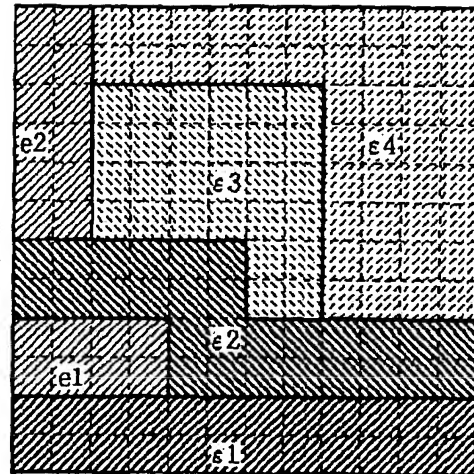


【図 9】



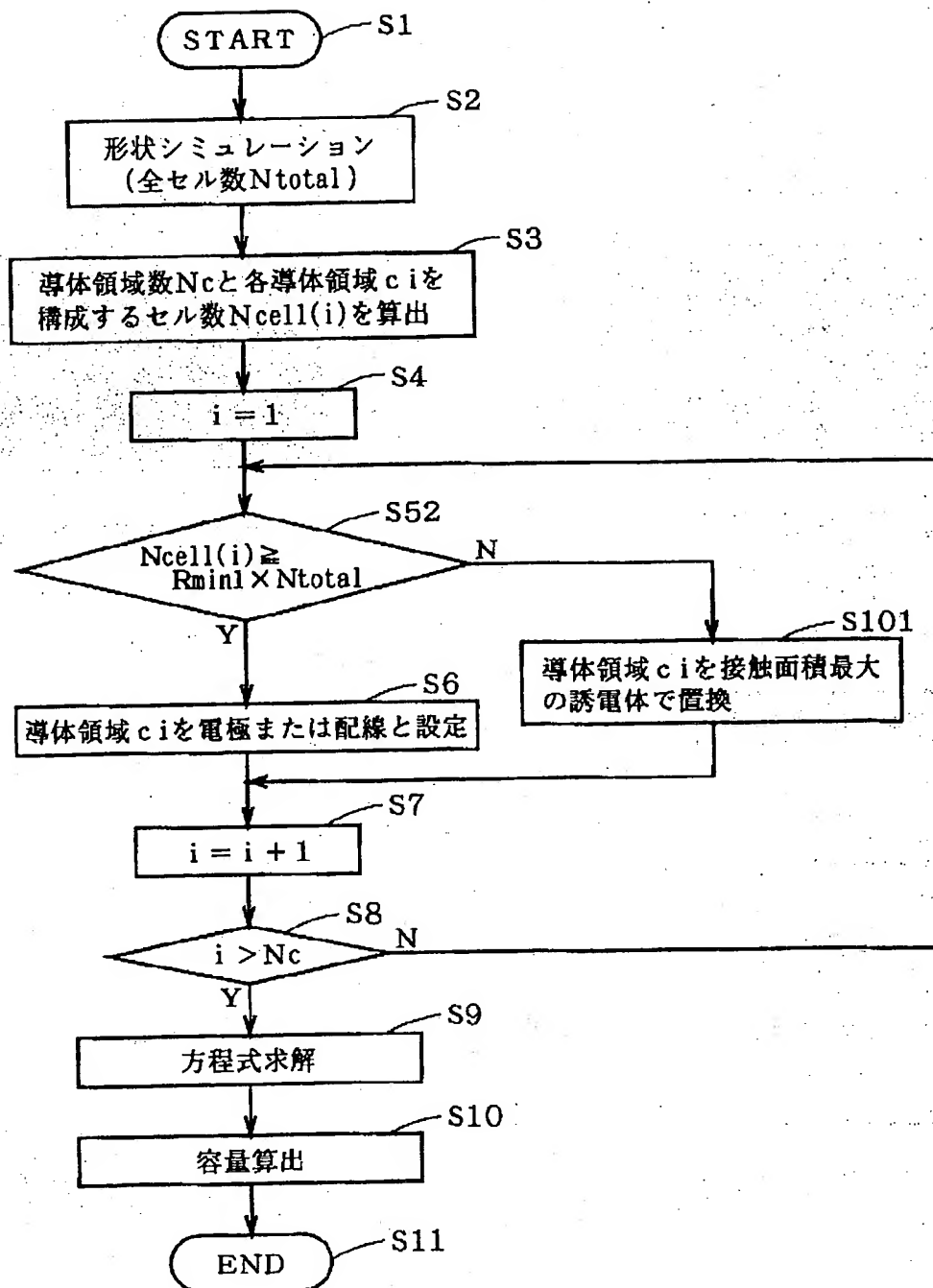
■ conductor

【図 10】

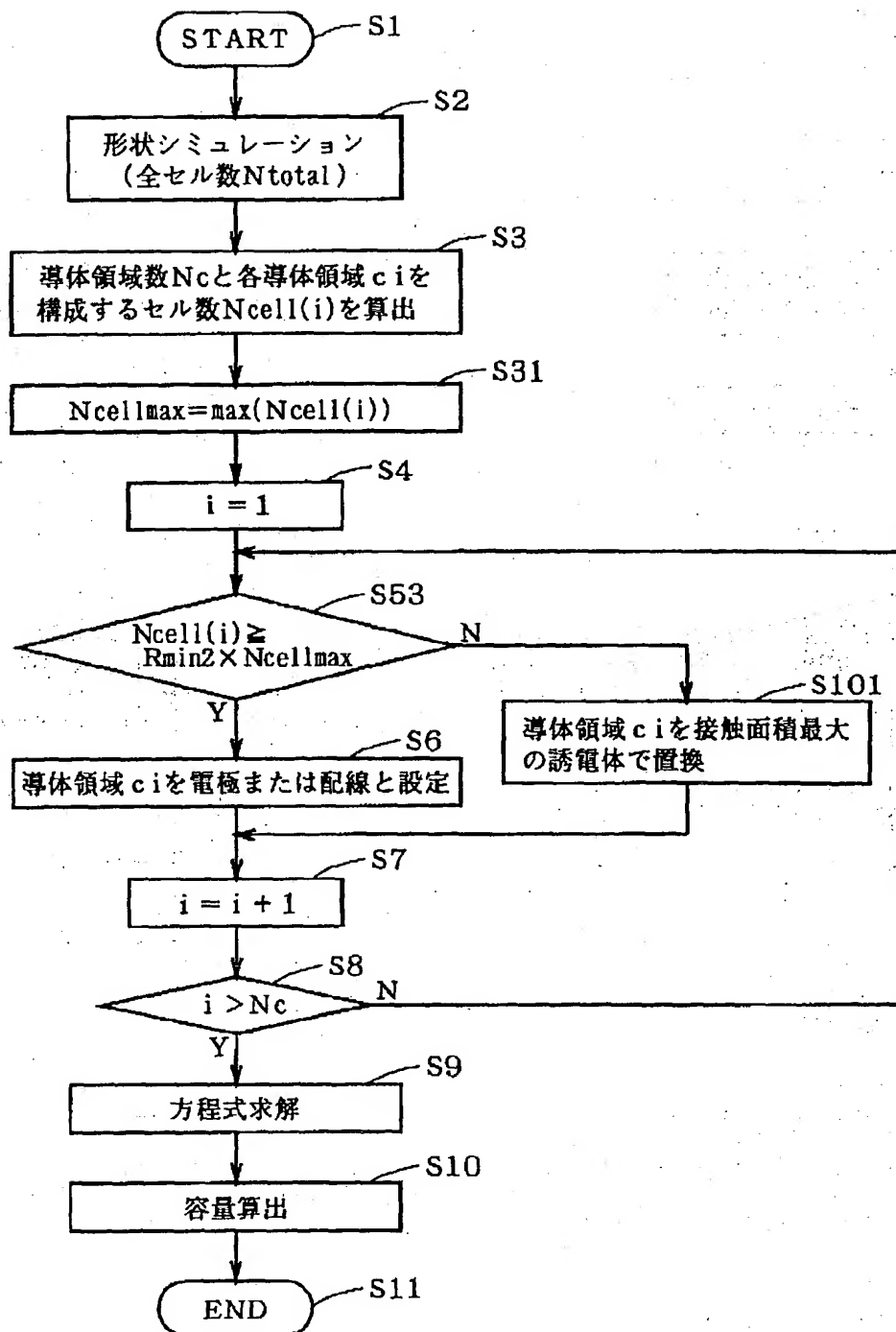


■ electrode or wire

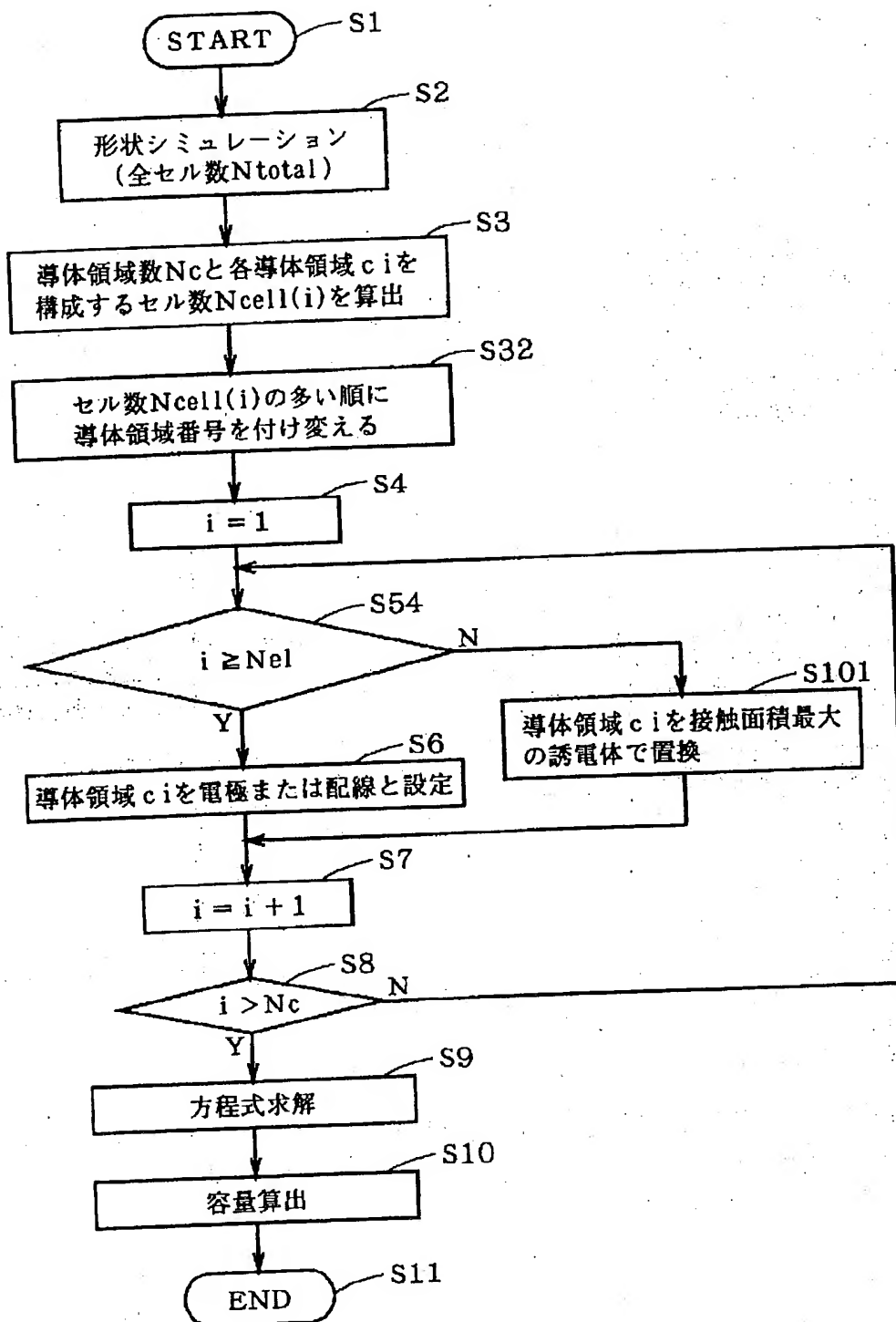
【図 1 1】



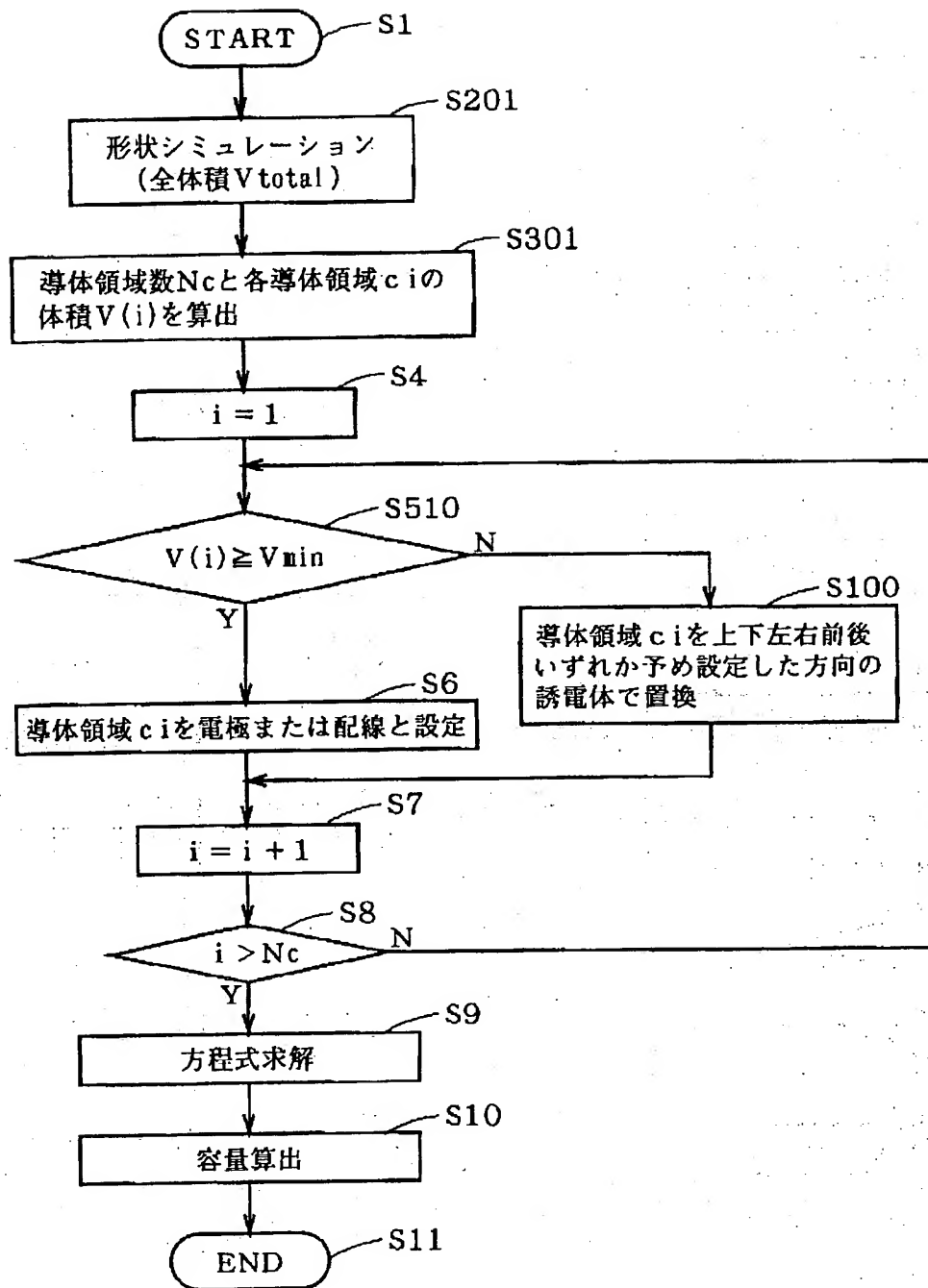
【図 12】



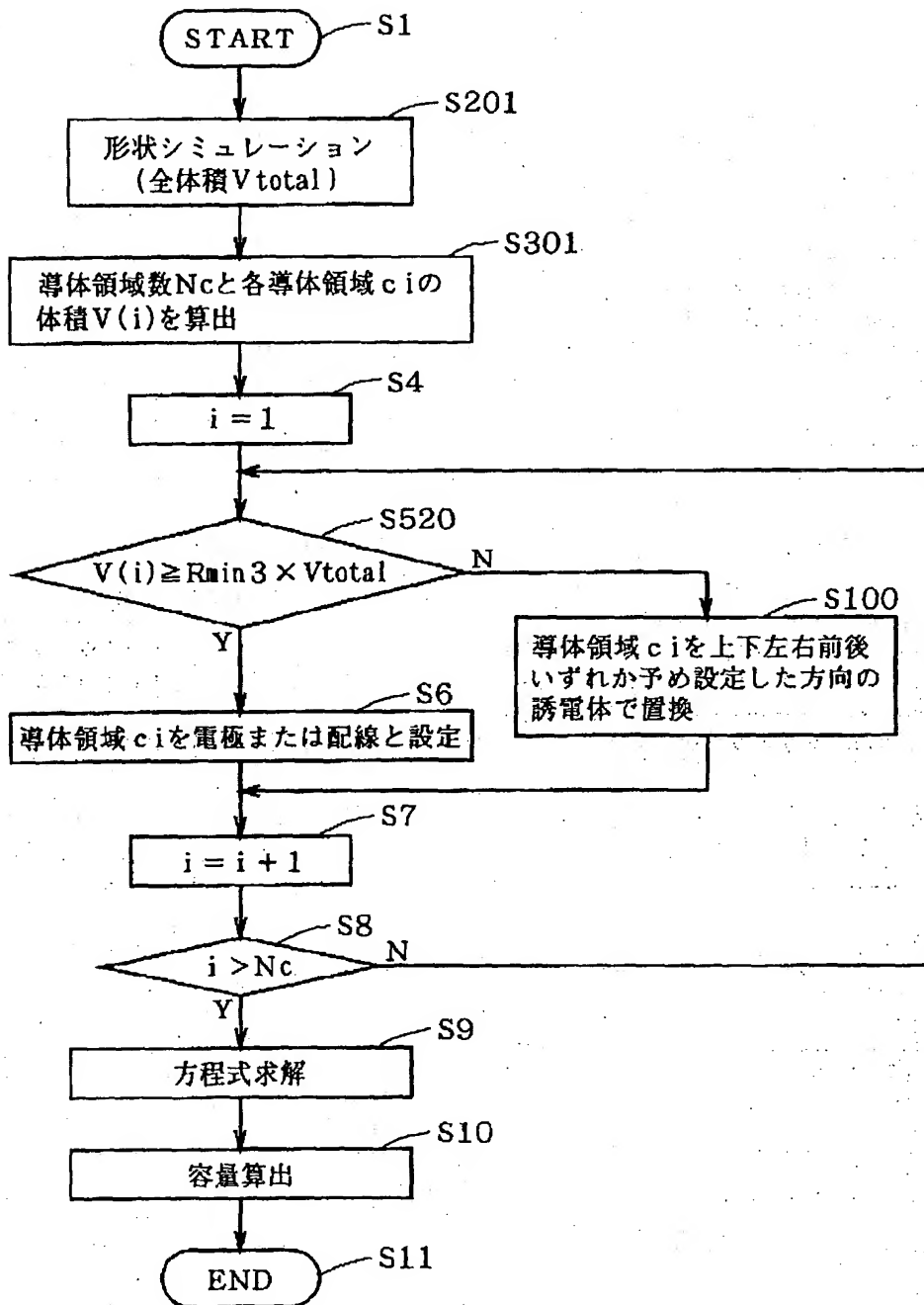
【図13】



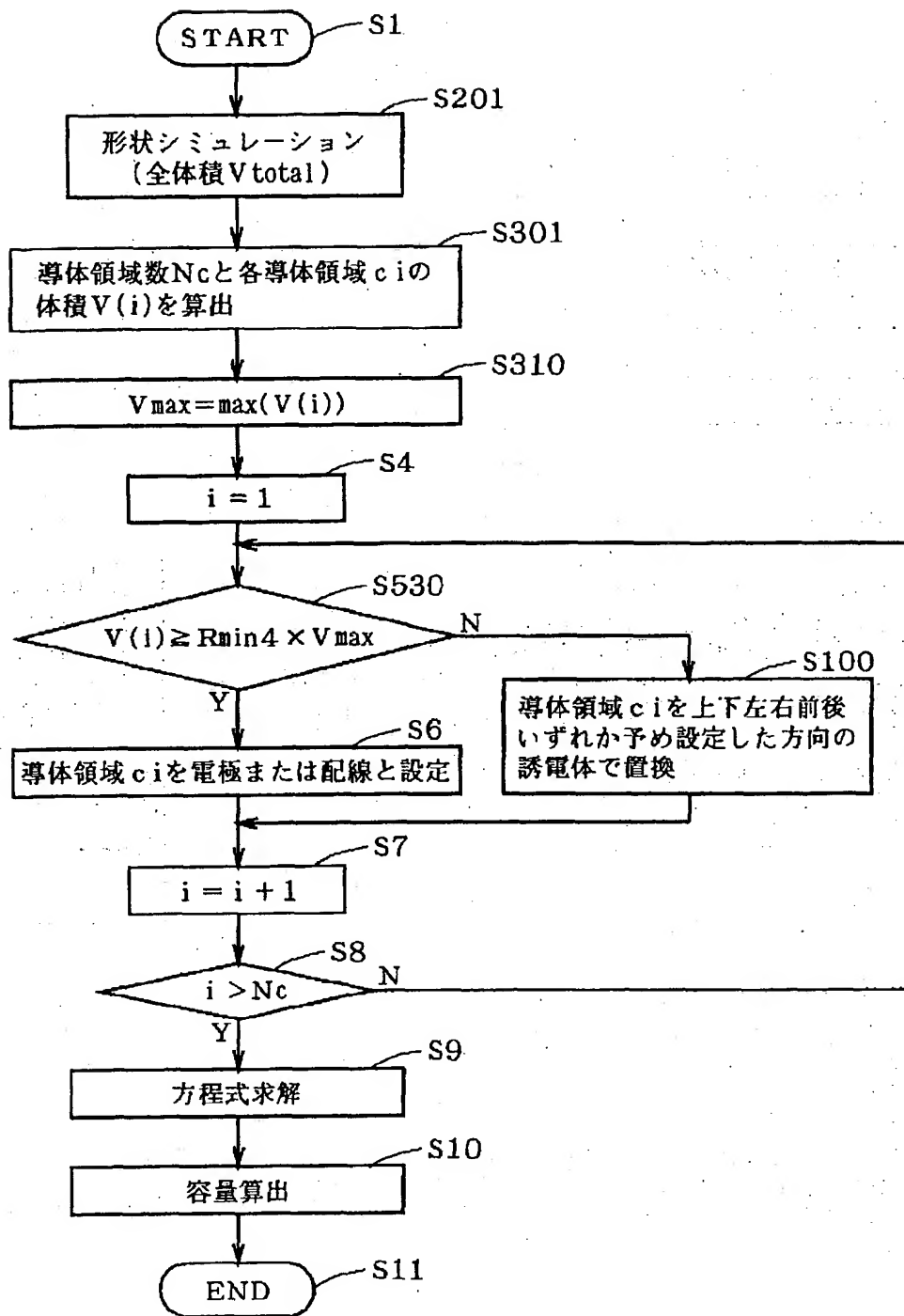
【図14】



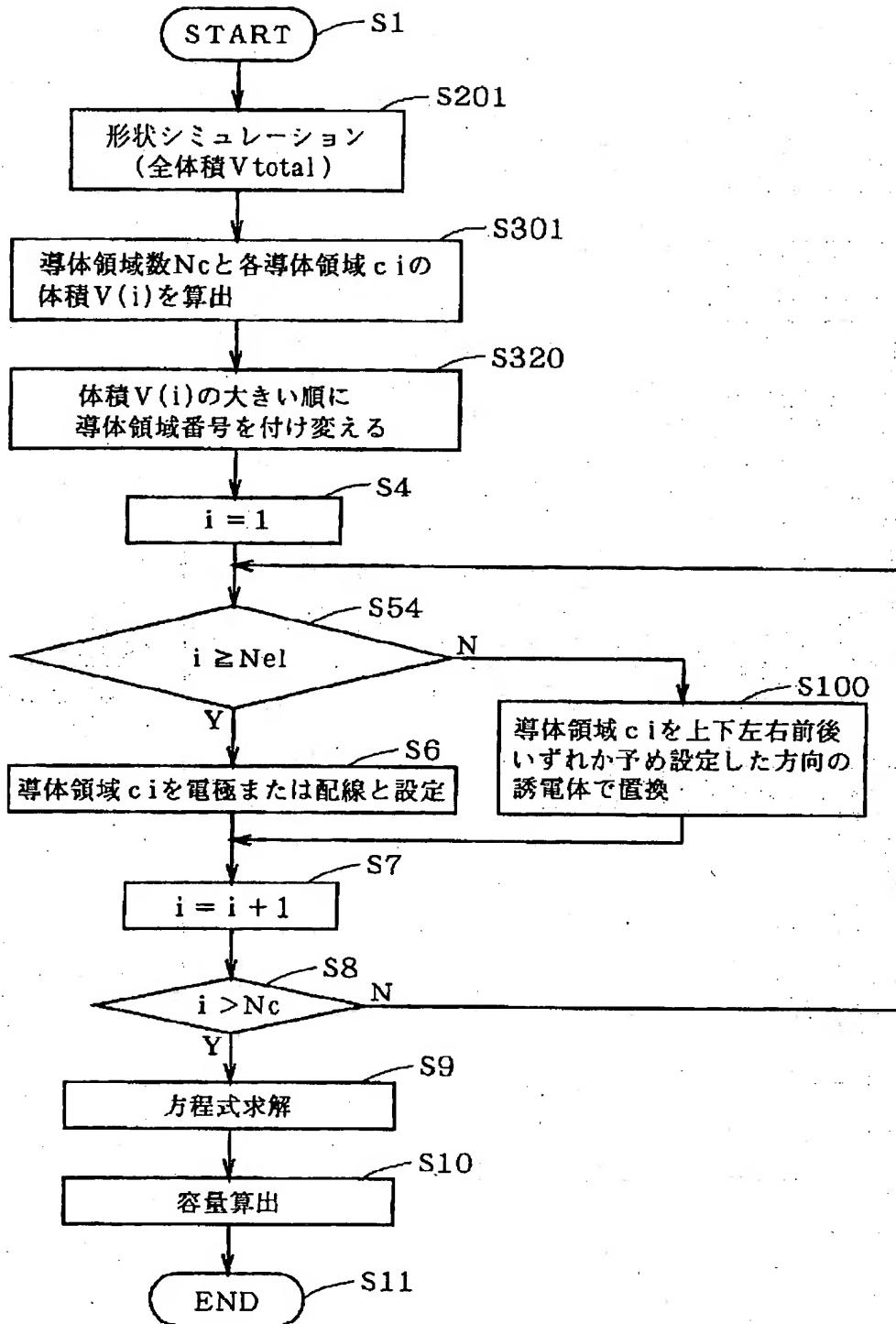
【図15】



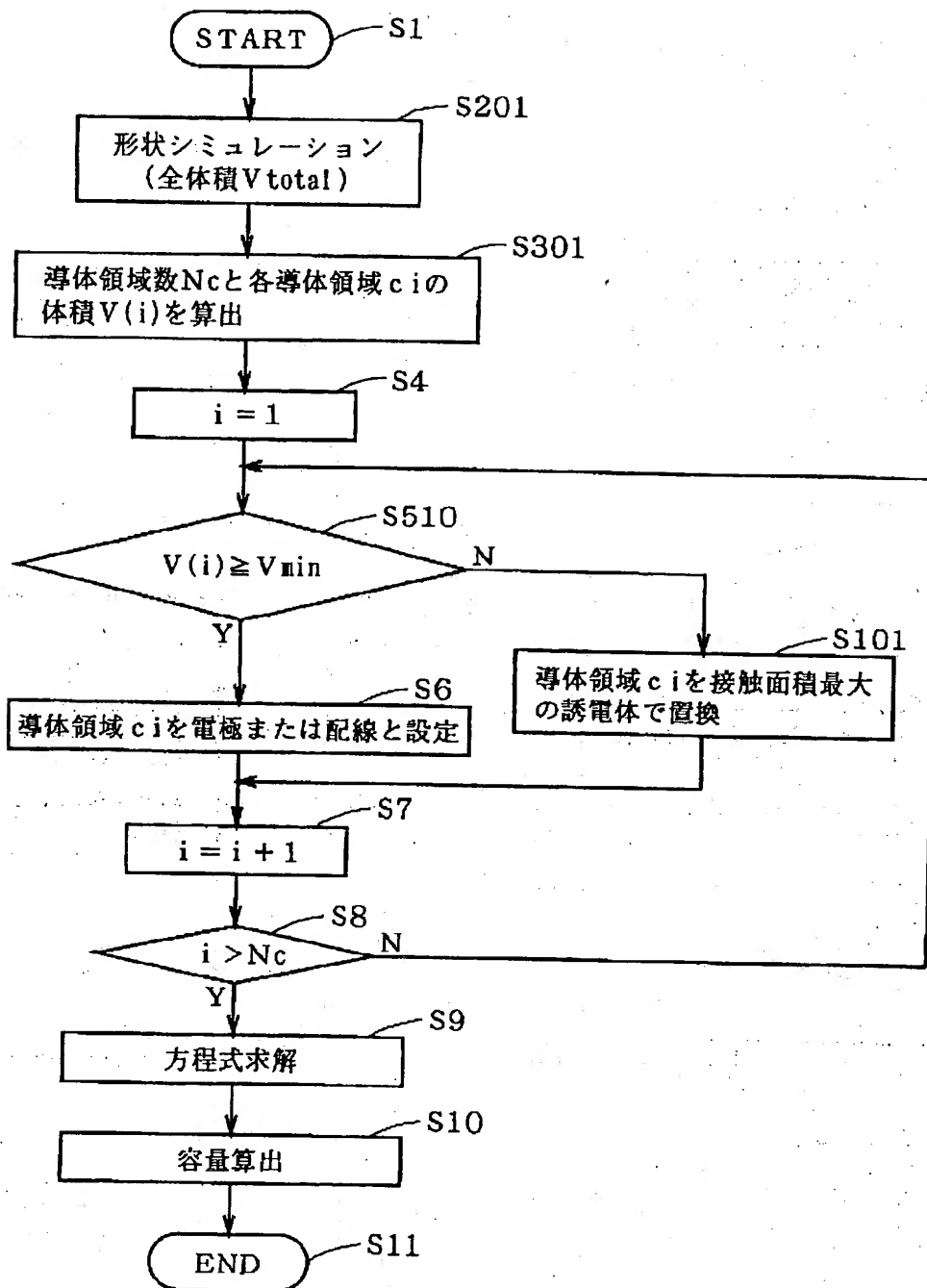
【図16】



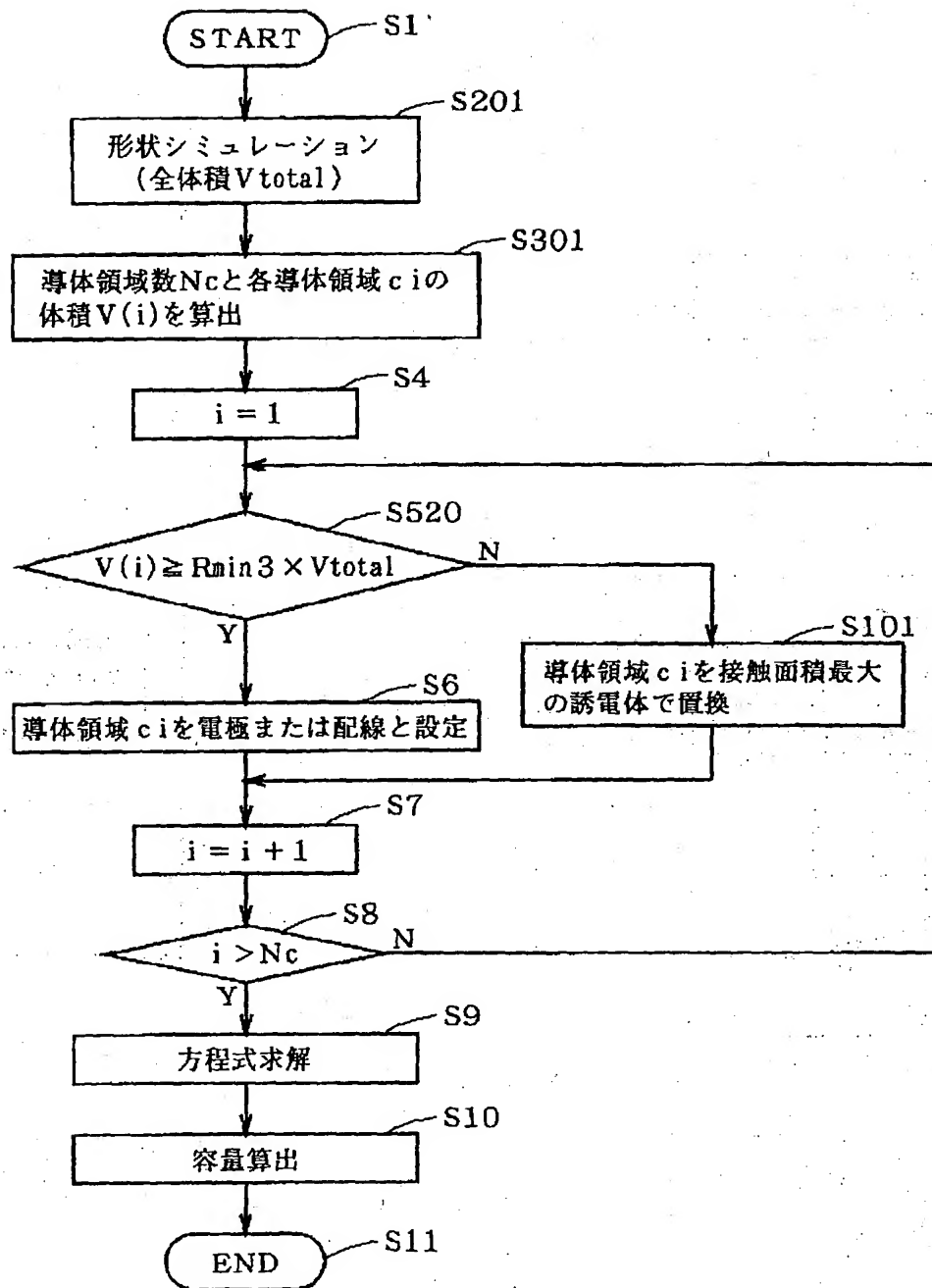
【図 17】



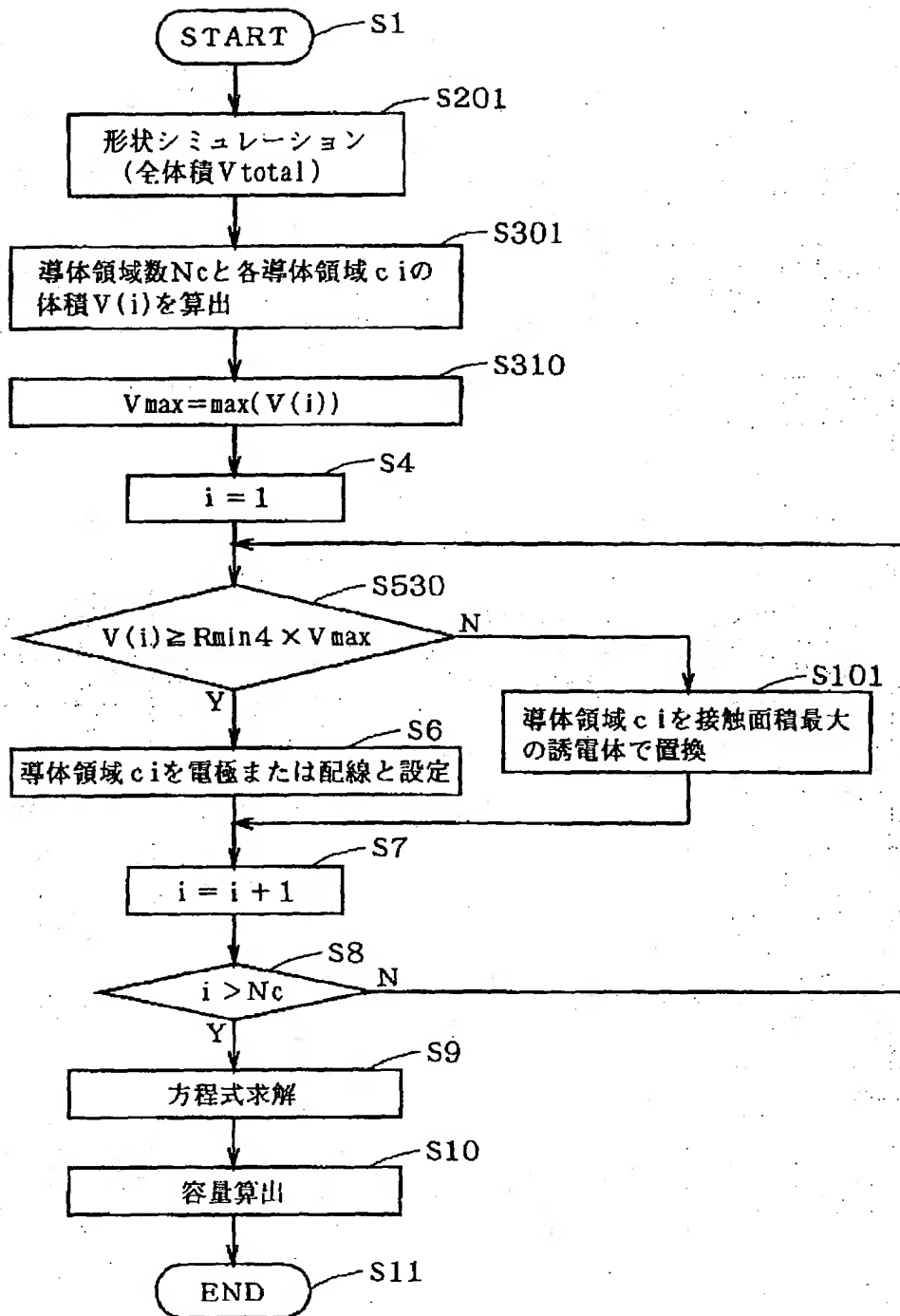
【図18】



【図19】



【図 20】



【図 21】

